

Modificazioni climatiche ed effetti sullo spettro pollinico in atmosfera – il caso di S. Michele all'Adige



Modificazioni climatiche ed effetti sullo spettro pollinico in atmosfera – il caso di S. Michele all'Adige

Relazione conclusiva a cura di:

Fabiana Cristofolini, Josè Oteros, Elena Gottardini

Riferimento attività:

Implementazione dell'Accordo di Programma

Prot. N. S175/2014/668873/3.5

Oggetto: finanziamento attività di comune interesse tra PAT e Fondazione Mach riferito alle modificazioni climatiche ed effetti sui pollini in atmosfera-il caso di S. Michele

Forma raccomandata di citazione:

Fabiana Cristofolini, Josè Oteros, Elena Gottardini – 2015- Modificazioni climatiche ed effetti sullo spettro pollinico in atmosfera-il caso di S. Michele. Relazione conclusiva. Lavoro eseguito con il contributo della Provincia Autonoma di Trento.

Disegno in copertina:

Maria Cristina Viola

<u>Indice</u>	
<u>Riassunto</u>	4
<u>1. Premessa</u>	
<u>1.1 Pollini e allergia</u>	6
<u>1.2 Stato dell'arte pollini e clima</u>	6
<u>2. Risultati</u>	
<u>2.1 Descrizione delle modificazioni nel tempo dello spettro pollinico sia in termini di durata che di quantitativi</u>	7
<u>2.2 Individuazione dei <i>taxa</i> che presentano un'evoluzione peggiorativa per chi soffre di allergia</u>	20
<u>2.3 Variabili climatiche che influenzano la pollinazione</u>	21
<u>2.4 Elaborazione di modelli previsionali relativi alla data di inizio della stagione pollinica</u>	31
<u>3. Materiali e metodi</u>	35
<u>4. Conclusioni</u>	36
<u>Riferimenti bibliografici</u>	37
<u>Ringraziamenti</u>	39

Riassunto

Lo studio riporta i risultati dell'analisi dei dati relativi ai pollini aerodispersi raccolti dal centro di monitoraggio aerobiologico di S. Michele all'Adige, Centro Ricerca ed Innovazione della Fondazione E. Mach. Questa stazione di monitoraggio si presenta come un caso studio ideale per la caratterizzazione dell'ecosistema alpino grazie alla sua localizzazione geografica, alla consistente serie storica di dati raccolti (26 anni; 1989-2014), nonché alla stretta vicinanza di una stazione meteorologica.

Obiettivi principali dello studio sono (i) descrivere le modificazioni nel tempo sia in termini di durata della stagione pollinica che di quantitativi del polline, (ii) analizzare quali variabili climatiche influenzino maggiormente la pollinazione e (iii) valutare le evoluzioni con possibili implicazioni negative per chi soffre di allergia ai pollini.

Sono stati analizzati 38 diversi *taxa* pollinici che corrispondono ad altrettante specie o gruppi di piante (genere, famiglia).

I risultati mostrano, per tutti i *taxa* considerati (ad eccezione delle *Poaceae*), un aumento dei quantitativi pollinici (aumento significativo nella metà dei casi).

Circa la metà dei *taxa* considerati mostra un trend di anticipo nell'inizio della stagione pollinica come conseguenza di un anticipo di fioritura. Questa tendenza si osserva più frequentemente nelle piante arboree, rispetto alle piante erbacee.

In alcuni *taxa* l'anticipo di fioritura è accompagnato un complessivo allungamento della stagione pollinica.

Interpretando questi dati alla luce delle ricadute sulle manifestazioni allergiche è quindi importante sottolineare come sia l'aumento dei quantitativi di polline, sia le modificazioni della tempistica di presenza del polline in atmosfera, possano ripercuotersi sulla sintomatologia del paziente allergico.

Nella seconda parte dello studio si considera il ruolo dei parametri climatici nella modificazioni osservate sullo spettro pollinico.




In accordo con studi pregressi la temperatura sembra essere il parametro più importante nell'influenzare la data di inizio pollinazione. Tale data per le piante arboree che rilasciano il polline nei primi mesi dell'anno è correlata sia alle temperature medie invernali, sia alla necessaria fase di accumulo di freddo (*chilling*). Le piante arboree a fioritura tardiva mostrano invece correlazioni con le temperature del mese di marzo. Le piante erbacee risentono meno della temperatura per il rilascio del polline.

Anche il vento è un parametro importante da considerare, soprattutto per il ruolo nella dispersione e trasporto a lunga distanza del polline. Analizzando i dati locali si osserva un trend di aumento della velocità del vento in tutte le stagioni e ciò può influenzare l'andamento delle concentrazioni rilevate soprattutto per i pollini non locali. Ad esempio i quantitativi rilevati di polline di olivo sono ben correlati con la velocità del vento sia primaverile che estiva. Le stesse correlazioni si osservano anche per il polline di *Ambrosia*.

La pioggia non sembra avere, nella nostra situazione climatica, un effetto sui *taxa* erbacei, come osservato in regioni più mediterranee, ove situazioni di stress idrico possono ritardare la stagione pollinica.

In sintesi, i parametri climatici analizzati mostrano di avere un effetto sulla tempistica di comparsa del polline in atmosfera e sui quantitativi di polline rilevato; questi effetti però non sono sempre chiari ed univoci per tutti i *taxa*. I parametri climatici agiscono in sinergia con altri fattori che possono contribuire a modificare lo spettro ed i quantitativi pollinici quali in primo luogo le modificazioni di uso del suolo, l'inserimento di nuove piante per scopo ornamentale o produttivo, nonché i ritmi endogeni ciclici di alcune piante.

In sintesi si osserva:

-  Aumento dell'Indice pollinico per tutti i taxa considerati ad eccezione delle graminacee
-  Anticipo della data di inizio pollinazione rilevato per circa la metà dei taxa; prevalentemente arborei
-  Un effetto della temperatura sulla data di inizio di pollinazione per piante arboree

1. Premessa

1.1 Pollini e allergia

La principale motivazione per cui viene svolto il monitoraggio pollinico è da ricondurre all'importanza che questi dati hanno nelle fasi di diagnosi e cura delle patologie allergiche. Il fenomeno delle allergie è indicato dall'OMS come una patologia importante; una percentuale di popolazione tra il 20-30% soffre di qualche forma di allergia (http://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy_web.pdf). Inoltre da più fonti è riportato come la percentuale di popolazione sensibile ai pollini sia in aumento (D'Amato et al. 2015).

Per poter attuare azioni mirate a ridurre l'esposizione ai pollini e/o intraprendere tempestivamente le appropriate terapie è importante conoscere il livello di esposizione a tali particelle. Questo è possibile sfruttando le informazioni ricavate attraverso il monitoraggio aerobiologico, che consiste nell'analisi puntuale, in continuo, del tipo di pollini presenti in atmosfera e delle loro concentrazioni. Esistono reti di monitoraggio aerobiologico che operano sia a livello nazionale, che a livello europeo ed internazionale.

Tali studi vengono svolti anche in Trentino e ad occuparsene è la Fondazione Edmund Mach (FEM), presso la quale è in funzione dal 1989 un centro di monitoraggio aerobiologico (<http://pollini.fmach.it>). Il lavoro svolto presso la FEM consente di ottenere dati di concentrazione aerea giornaliera di pollini (numero di pollini per metro cubo d'aria, P m-3) di oltre 70 diversi *taxa* (distinguibili su base morfologica attraverso l'analisi al microscopio).

1.2 Stato dell'arte pollini e clima

Le modificazioni climatiche sono considerate e monitorate a livello globale (Report IPCC). L'attenzione del mondo scientifico è volta anche alla comprensione degli effetti di tali cambiamenti.

Ci sono numerose evidenze di come i cambiamenti climatici influenzino singole specie ma anche le complesse reti di relazioni tra organismi viventi nei diversi ecosistemi (Walther 2010). Un'analisi globale (Parmesan e Yohe 2003) ha rilevato un anticipo medio nella fenologia degli "eventi primaverili": riproduzione delle rane, nidificazione di uccelli, arrivo degli uccelli migratori e farfalle, comparsa di gemme sugli alberi, di 2.3 giorni /decade, inclusa la fioritura in accordo con altri autori (Cook et al 2012, Emberlin et al 2002).

I pollini aerodispersi di specie anemofile sono considerati un bioindicatore attendibile della fioritura in due modi: come indicatore di intensità di fioritura (quantitativi di polline) e dall'altra parte per la fenologia della fioritura (tempistica).

Si riporta un tendenziale aumento dei pollini prodotti a livello europeo (Ziello et al. 2012, Fernandez – Llamazares 2014) in particolare per specie arboree a fioritura invernale –primaverile con trend più pronunciati in ambito urbano che in contesti rurali o semi-rurali.

Anche per gli Stati Uniti è riportato un trend di aumento dei quantitativi totali ed un anticipo nella data di inizio fioritura (Zhang et al. 2015).

Una diminuzione di produzione polline sembra invece presente per le specie erbacee, soprattutto nelle regioni più mediterranee in relazione ad un trend di minor disponibilità idrica (Alcazar 2009, Recio 2009).

Un anticipo di fioritura registrato attraverso la presenza del polline in aria è riportato da diversi autori (Garcia –Mozo et al. 2010; Bock et al. 2014; Emberlin et al. 2002).

In contesto alpino Clot (2003) rileva per la Svizzera come dall'analisi dello spettro pollinico emerga una variazione significativa nei quantitativi solo per pochi *taxa* (5) ed un modesto trend di anticipo di fioritura (0.85 giorni/anno). Anche in questo caso si riporta una maggior risposta di piante arboree rispetto alle erbacee.

Per spiegare le modificazioni osservate, autori diversi richiamano l'attenzione a considerare, accanto ai cambiamenti climatici, uno spettro più ampio di fattori: ad esempio, i livelli atmosferici di CO₂ mostrano di avere un effetto sulla produzione pollinica (Ziello et al. 2012; Ziska & Beggs 2012); anche indici climatici a larga scala quali ad esempio la North Atlantic Oscillation (NAO) sembrano influire sulle stagioni polliniche (Stach et al. 2008; Smith et al. 2009).

Non ultimo, modificazioni naturali o antropiche di uso del suolo determinano cambiamenti sulla vegetazione che si riflettono nello spettro pollinico (Foley et al. 2005; Turner et al. 2007).

Occorre dunque avere una visione più ampia dei fattori che possono influire sugli spettri pollinici per poter interpretare correttamente i vari fenomeni.

In un contesto di cambiamenti climatici è inoltre importante monitorare la situazione per valutare il rischio salute associato (Forsberg et al. 2012).

2.Risultati

Si riportano di seguito gli esiti dello studio strutturati in base ai quesiti formulati nella convenzione.

2.1. Descrizione delle modificazioni nel tempo dello spettro pollinico sia in termini di durata che di quantitativi

Per il presente studio sono stato considerati 38 *taxa* pollinici, corrispondenti a quelli con le concentrazioni più elevate tra i 78 complessivamente identificati attraverso il monitoraggio aerobiologico realizzato a S. Michele a/A (Tabella 1). I 38 *taxa* sono stati raggruppati per i fini di analisi in tre tipologie:

- A. Piante arboree a fioritura invernale/primaverile
- B. Piante arboree a fioritura estiva
- C. Piante erbacee

Si fa uso del termine "*taxa*" poiché il livello di determinazione dei pollini attraverso l'analisi microscopica consente di raggiungere il livello di specie, genere o famiglia a seconda delle caratteristiche morfologiche del granulo pollinico.

Gruppo A	Famiglia	Genere	Specie	Nome comune	DOY IF
Gruppo A	Betulaceae	Alnus		<i>Ontano</i>	35
	Corylaceae	Corylus		<i>Nocciolo</i>	35
	Cupressaceae			<i>Cupressacee</i>	48
	Ulmaceae	Ulmus		<i>Olmo</i>	55
	Salicaceae	Populus		<i>Pioppo</i>	61
	Aceraceae	Acer		<i>Acero</i>	70
	Salicaceae	Salix		<i>Salice</i>	71
	Pinaceae	Larix		<i>Larice</i>	82
	Betulaceae	Betula		<i>Betulla</i>	82
	Euphorbiaceae			<i>Euforbiacee</i>	83
	Corylaceae	Carpinus	Carpinus betulus	<i>Carpino bianco</i>	83
	Oleaceae	Fraxinus		<i>Frassino</i>	88
	Rosaceae			<i>Rosacee</i>	90
	Corylaceae	Ostrya	Ostrya carpinifolia	<i>Carpino nero</i>	92
Gruppo B	Platanaceae	Platanus		<i>Platano</i>	97
	Juglandaceae	Juglans		<i>Noce</i>	98
	Fagaceae	Quercus		<i>Quercia</i>	102
	Fagaceae	Fagus	Fagus sylvatica	<i>Faggio</i>	108
	Moraceae			<i>Moracee</i>	110
	Pinaceae	Picea		<i>Abete</i>	111
	Caprifoliaceae	Sambucus		<i>Sambuco</i>	117
	Pinaceae	Pinus		<i>Pino</i>	120
	Caprifoliaceae			<i>Caprifogliacee</i>	122
	Vitaceae	Vitis		<i>Vite</i>	146
	Oleaceae	Olea	Olea europea	<i>Olivo</i>	146
	Fagaceae	Castanea		<i>Castagno</i>	162
	Cannabaceae			<i>Cannabacee</i>	209
	Pinaceae	Cedrus		<i>Cedro</i>	224
Gruppo C	Cyperaceae			<i>Cyperacee</i>	70
	Umbelliferae			<i>Umbelliferee</i>	89
	Polygonaceae	Rumex		<i>Romice</i>	107
	Poaceae (Graminaceae)			<i>Graminacee</i>	114
	Urticaceae			<i>Urtica e Parietaria</i>	129
	Plantaginaceae	Plantago		<i>Piantaggine</i>	141
	Amaranthaceae (Chenopodiaceae?)			<i>Amarantacee e Chenopodiacee</i>	177
	Compositae			<i>Compositae</i>	177
	Compositae	Artemisia		<i>Assenzio</i>	218
	Compositae	Ambrosia		<i>Ambrosia</i>	221

Tab. 1. Elenco dei *taxa* descritti nello studio; in grassetto il livello di determinazione raggiunto con l'analisi pollinica, affiancato dal nome comune e dal giorno – espresso come DOY – di inizio fioritura (IF). Gruppo A) piante arboree a fioritura invernale-primaverile; B) piante arboree a fioritura estiva; C) piante erbacee.

2.1.1 Analisi descrittiva: durata della stagione pollinica dei diversi *taxa*

Per i *taxa* considerati si riportano di seguito, rappresentati graficamente, i parametri che descrivono la stagione pollinica - ovvero inizio e fine della stagione - suddivisi secondo i tre gruppi individuati (Figura 1, 2, 3). Si considerano come inizio e fine della stagione pollinica rispettivamente il giorno in cui viene raggiunto il 2,5 % e il 97,5% del totale del polline rilevato durante l'anno.

L'insieme dei grafici rappresenta il calendario pollinico della stazione considerata.

I box indicano l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile, la barra interna al box indica la mediana, la linea riflette l'intervallo dei valori (min-max).

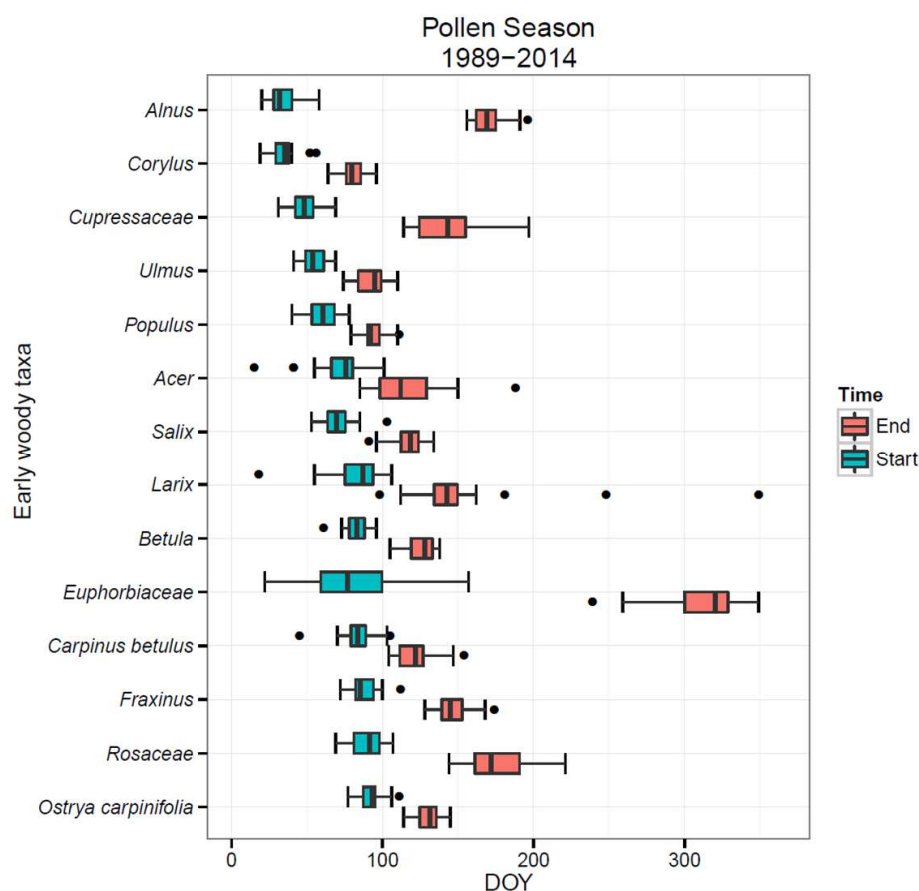


Fig. 1. Piante arboree a fioritura invernale/primaverile: data di inizio e fine stagione pollinica calcolata sui dati degli anni 1989-2014.

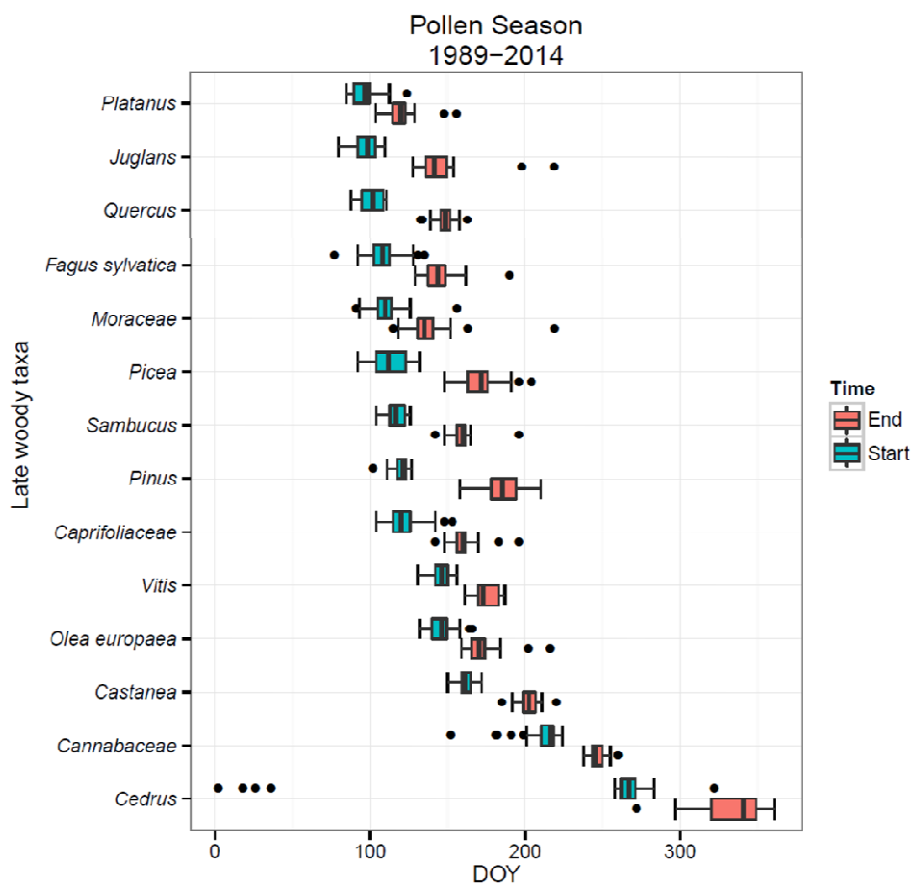


Fig. 2. Piante arboree a fioritura primaverile: data di inizio e fine stagione pollinica (1989-2014).

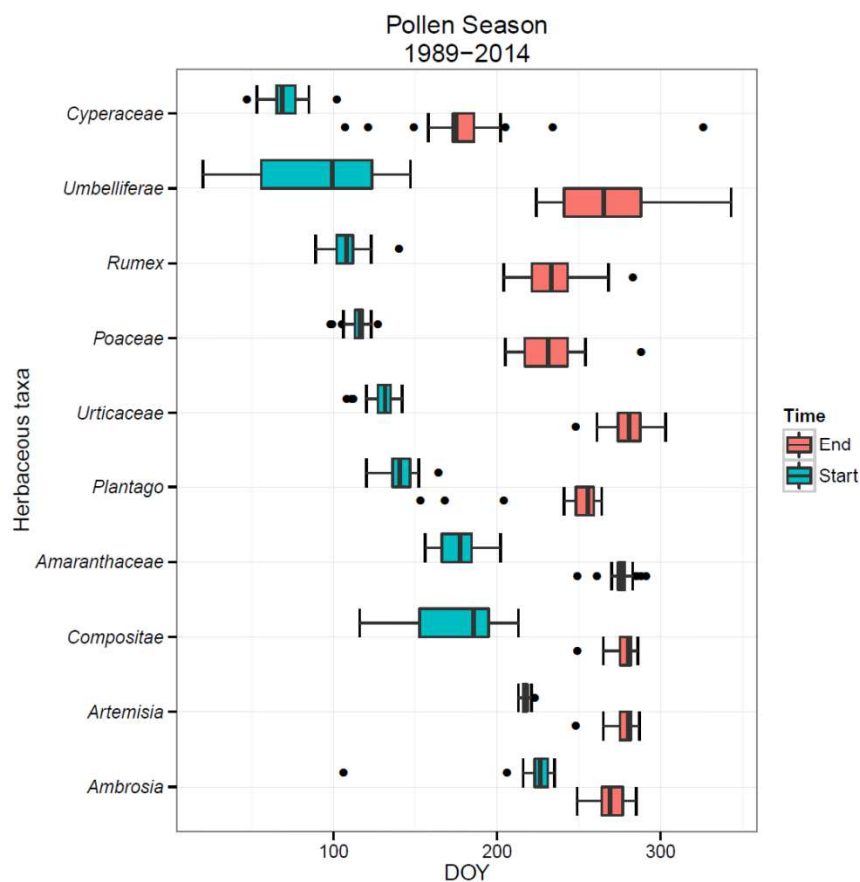


Fig. 3. Piante erbacee: data di inizio e fine stagione pollinica calcolata sui dati degli anni 1989-2014.

2.1.2 Analisi descrittiva dei quantitativi di polline prodotto dai diversi *taxa* (IP)

Con questa analisi si valuta quale è l'apporto in termini quantitativi allo spettro pollinico di ciascun *taxon*. Si utilizza come descrittore l'Indice Pollinico (IP) che corrisponde alla somma delle concentrazioni polliniche giornaliere dalla data di inizio alla data di fine della stagione pollinica. Le figure 4,5,6 riportano box che indicano l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile, la barra interna al box indica la mediana, la linea riflette l'intervallo dei valori (min-max), i puntini outliers.

I *taxa* maggiormente rappresentati sono: *Ostrya carpinifolia*, *Cupressaceae*, *Urticaceae* e *Poaceae* (o *Graminaceae*).

Per alcuni *taxa* si nota un'ampia variabilità dei quantitativi pollinici rilevati nei diversi anni.

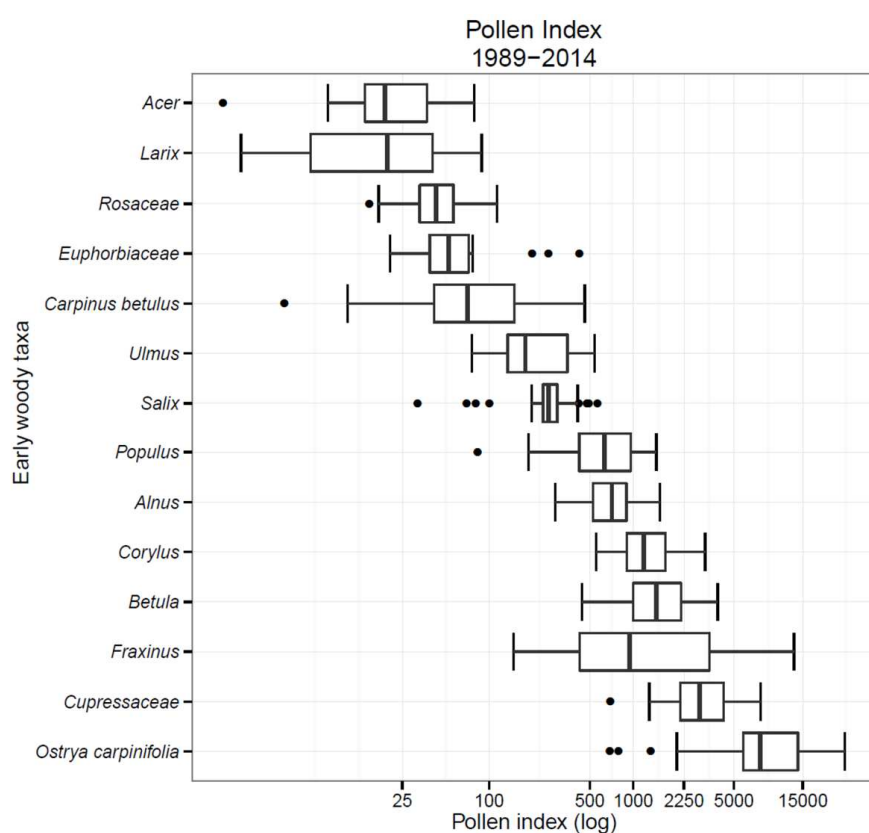


Fig. 4. Piante arboree a fioritura invernale/primaverile: Indice Pollinico.

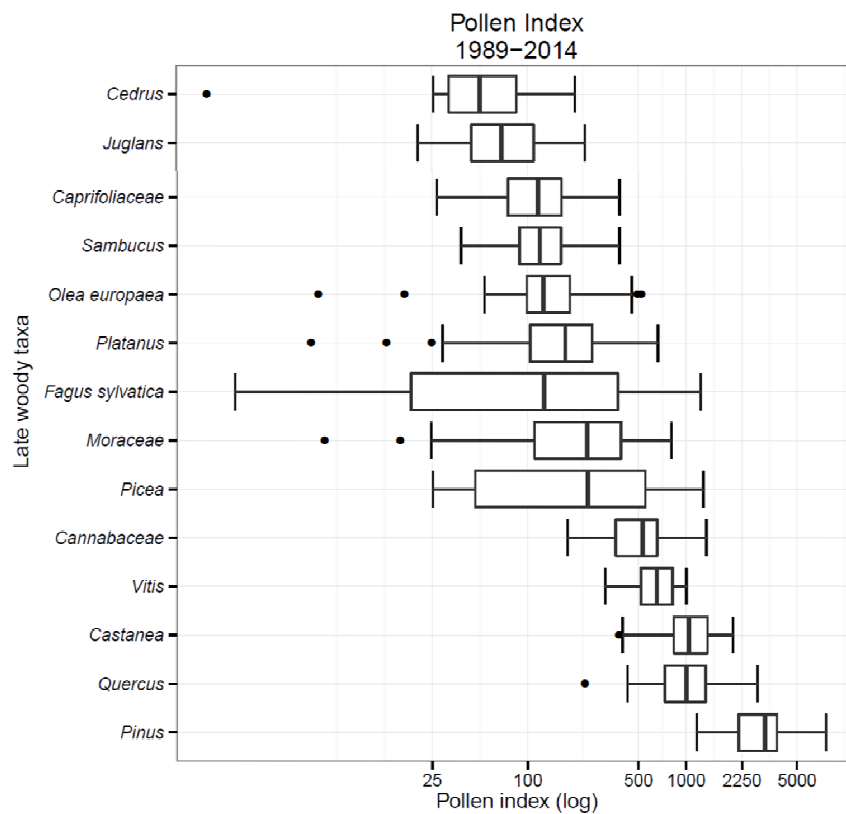


Fig. 5. Piante arboree a fioritura primaverile: Indice Pollinico.

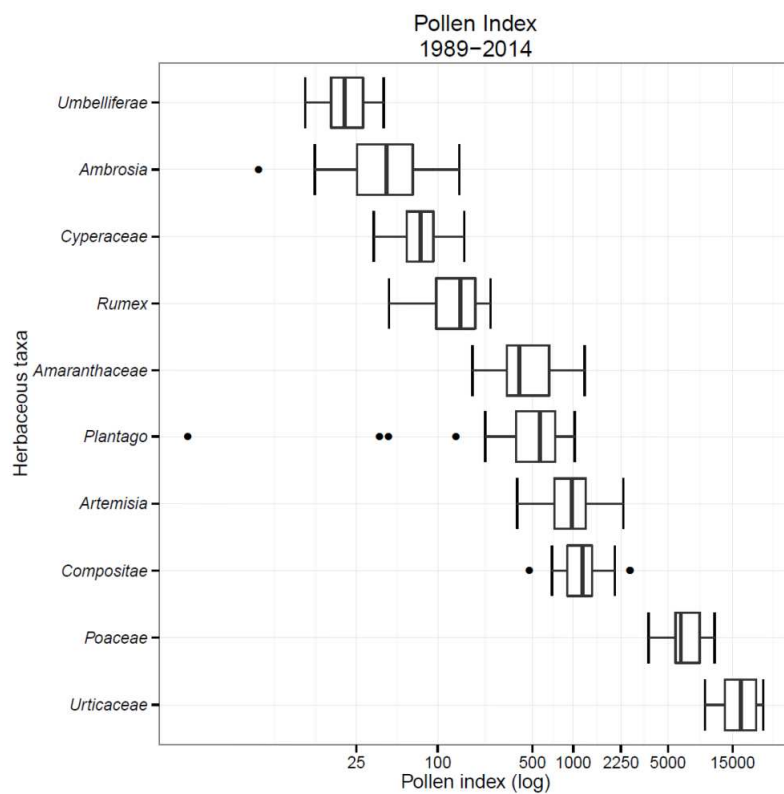


Fig 6. Piante erbacee: Indice Pollinico.

2.1.3 Modificazioni nel tempo della stagione pollinica

Per ciascun *taxa* pollinico considerato e anno di monitoraggio sono state calcolate la durata della stagione pollinica (per differenza tra la data di fine e la data di inizio) e la data di picco (giorno in cui si registra il valore massimo di concentrazione).

Questi parametri descrittivi sono stati valutati per l'intervallo temporale disponibile, dal 1989 al 2014.

Per ogni *taxa* è stato quindi possibile rappresentare tali andamenti. A titolo esemplificativo si riporta il caso delle *Poaceae*. I grafici per tutti gli altri *taxa* sono disponibili nell'allegato 1.

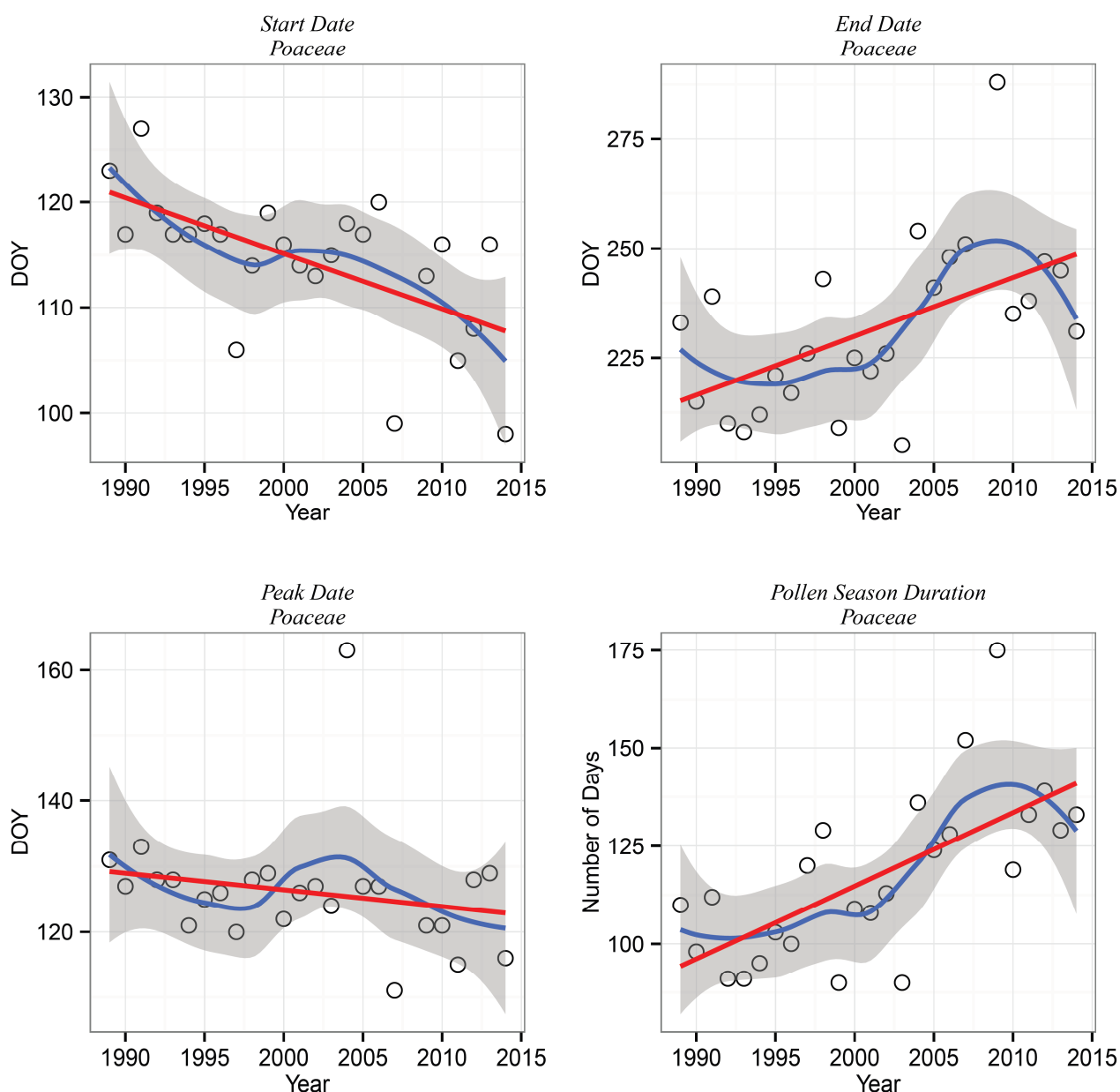


Fig. 7. Grafici descrittivi dei trend dei dati annuali sul periodo, osservati nella famiglia delle *Poaceae* (*Graminaceae*) relativamente alla data di inizio, data di fine, data di picco e durata della stagione pollinica. La linea rossa indica la tendenza lineare sull'intero periodo, quella blu la linea di regressione non-parametrica LOESS, l'area grigia la deviazione standard.

L'esito delle singole analisi è stato riassunto nelle figure successive (Figura 8, 9, 10). Per ogni *taxa* sono rappresentati i valori delle pendenze delle linee di tendenza nel tempo dei seguenti parametri : la data di inizio stagione pollinica (viola), la data di fine stagione pollinica (rosso), la data di raggiungimento della concentrazione massima (verde), la durata della stagione pollinica (blu). Valori negativi indicano una tendenza all'anticipo, valori positivi una tendenza al ritardo delle rispettive date. I simboli cerchiati di rosso stanno a significare che la tendenza è statisticamente significativa.

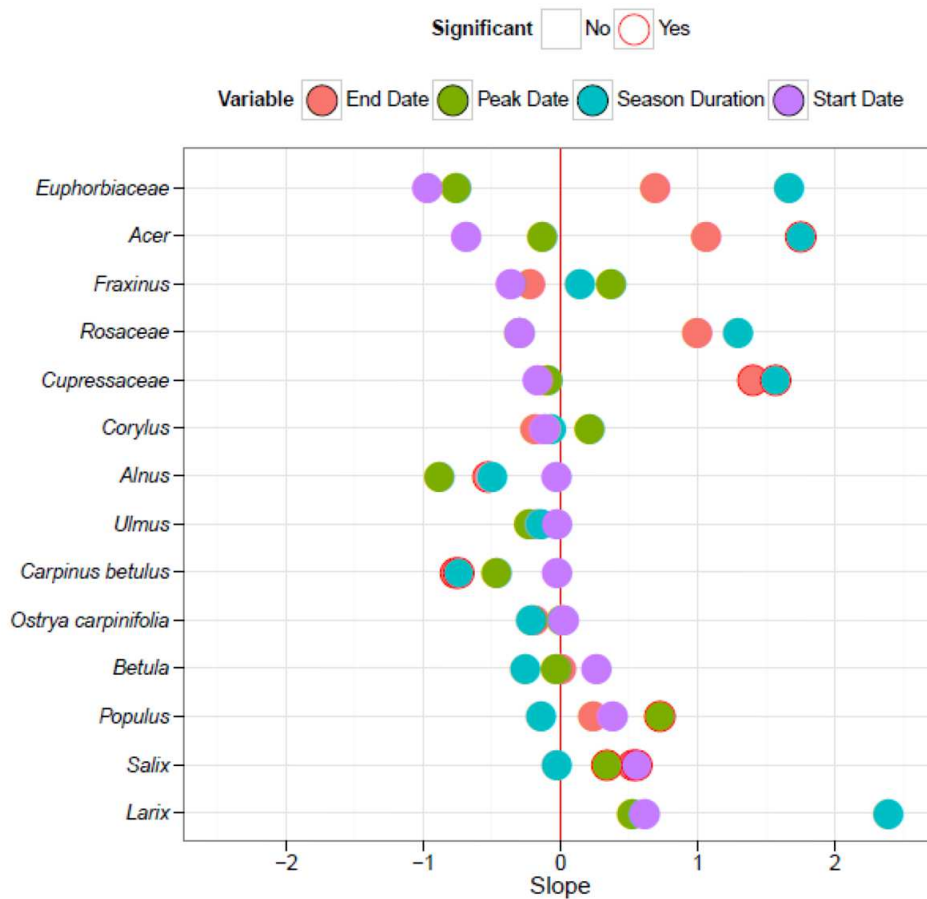


Fig. 8. Piante arboree a fioritura invernale/primaverile; trend fenologici nel periodo 1989-2014.

Si osserva un anticipo nell'inizio fioritura, benché non significativo, per alcuni *taxa*: *Euphorbiaceae*, *Acer*, *Fraxinus*, *Rosaceae*, *Cupressaceae*, *Corylus*. Per alcuni *taxa* (*Cupressaceae*, *Acer*, *Rosaceae*, *Euphorbiaceae*) ciò è accompagnato da un ritardo nella fine fioritura con conseguente allungamento della stagione pollinica, significativo per *Acer* e *Cupressaceae*. Altri *taxa*, quali *Betula*, *Populus*, *Salix* (significativo) e *Larix*, mostrano invece un ritardo. Relativamente alla data di picco i trend sono più irregolari.

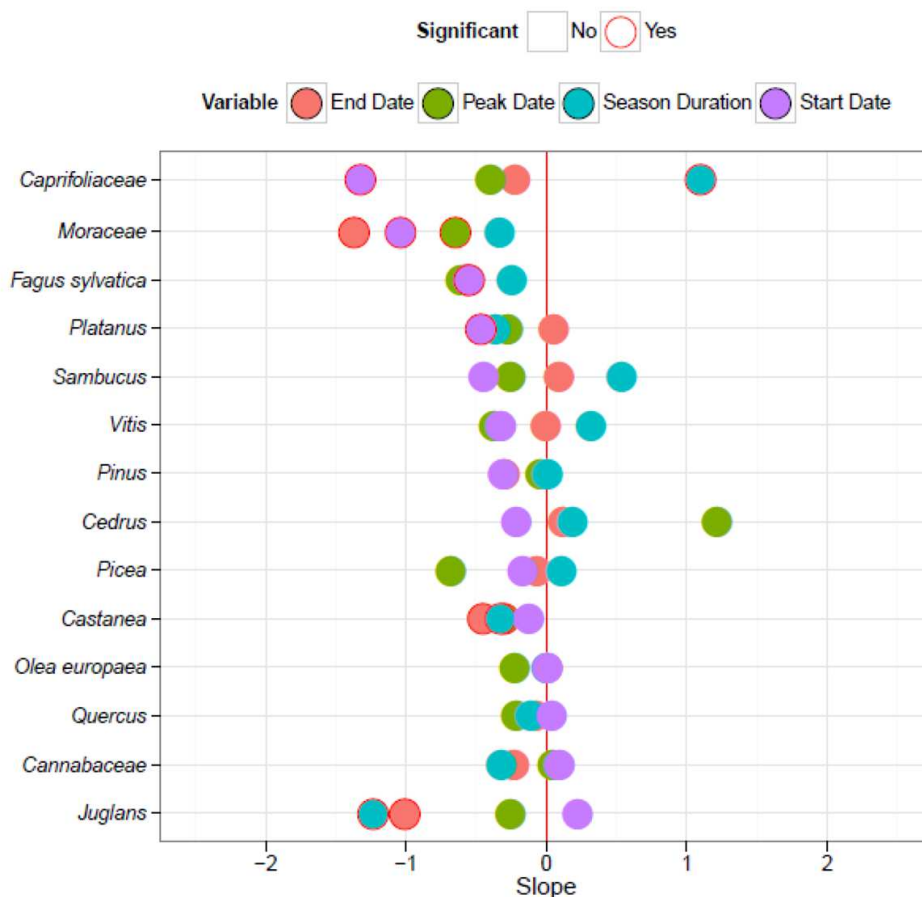


Fig. 9. Piante arboree a fioritura estiva: trend fenologici nel 1989-2014.

In questo secondo gruppo di piante la maggior parte dei *taxa* mostra un anticipo nella fioritura; per alcuni (*Moraceae* e *Fagus*) tale anticipo è accompagnato anche da un anticipo della data di fine fioritura con il risultato di uno spostamento della stagione pollinica.

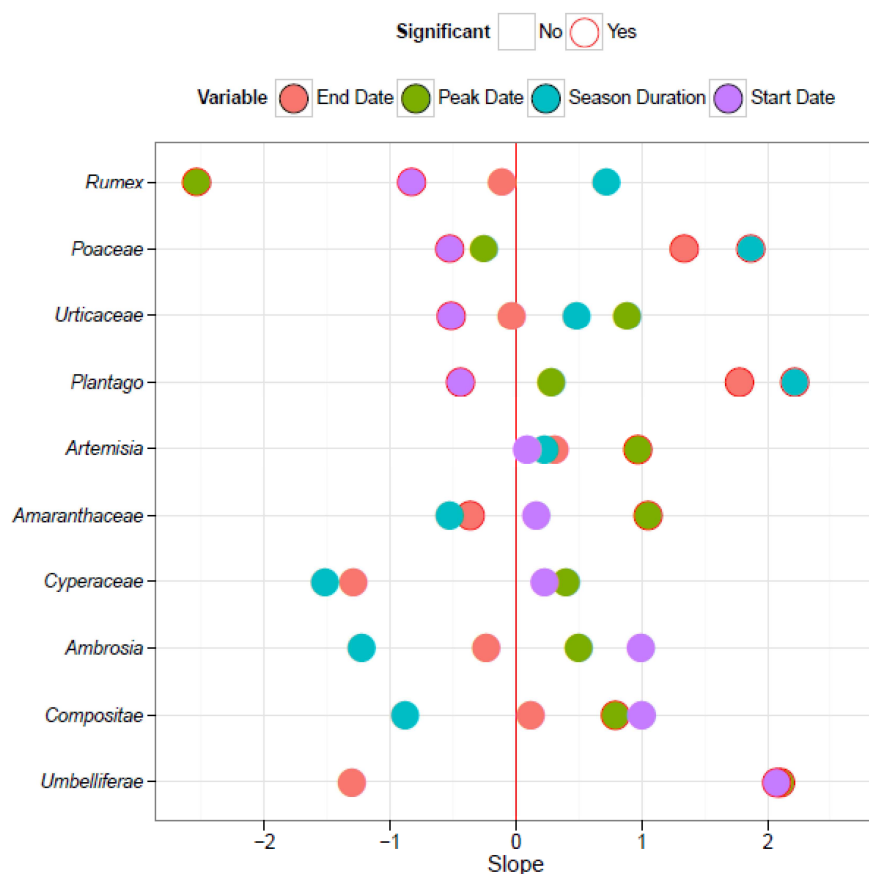


Fig.10. Piante erbacee: trend fenologici nel periodo 1989-2014.

Per il gruppo di piante erbacee si osserva un anticipo significativo della fioritura per 4 *taxa* su 10; tra questi si evidenziano gli importanti *taxa* allergenici delle *Poaceae* (o *Graminaceae*) e delle *Urticaceae*. Nel caso delle *Poaceae* si osserva inoltre un aumento significativo della durata della stagione pollinica. La famiglia delle *Compositae* in generale ed i generi di *Artemisia* ed *Ambrosia* non manifestano tale anticipo.

2.1.4 Modificazioni nel tempo dei quantitativi

Nei grafici successivi si analizzano i quantitativi di polline rilevato utilizzando 4 diversi indicatori: in verde l'indice pollinico (IP) esprime i quantitativi totali registrati tra la data di inizio e la data di fine stagione; in rosso i quantitativi massimi registrati (picco); in viola i quantitativi registrati tra l'inizio ed il picco; in azzurro i quantitativi registrati tra il picco e la fine. I valori descrivono la pendenza della retta di tendenza dei vari indici. Anche in questo caso si riportano le analisi con i *taxa* aggregati in tre gruppi.

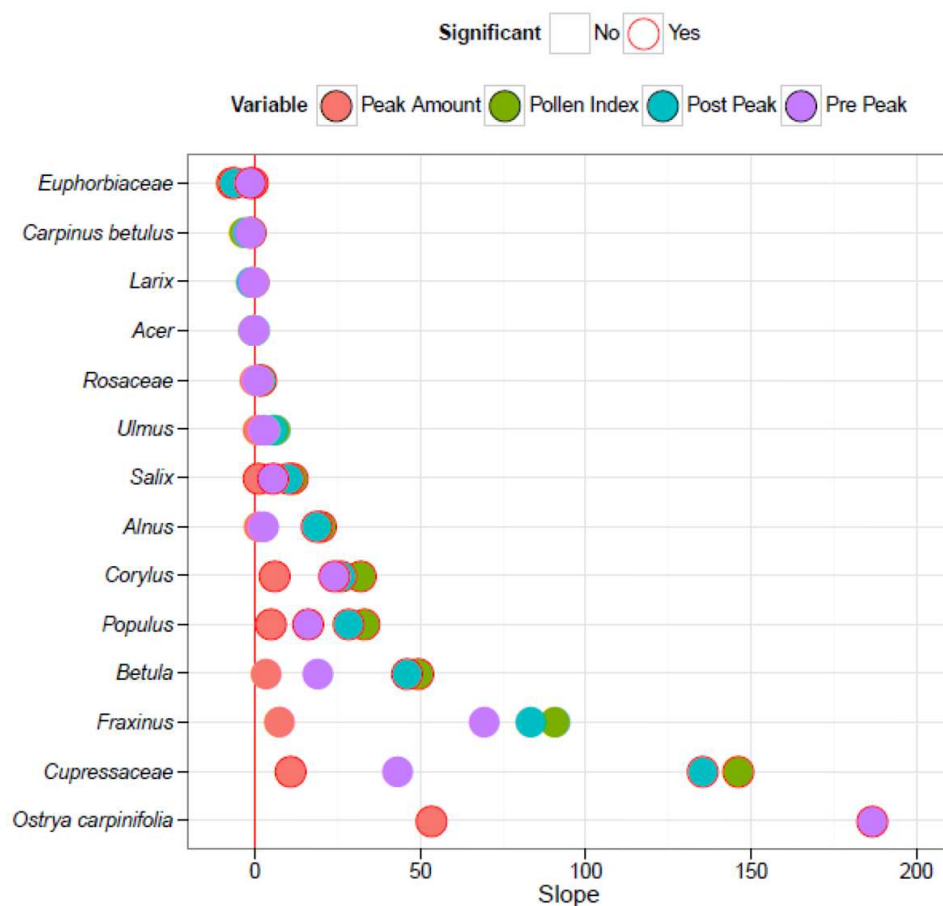


Fig. 11. Piante arboree a fioritura invernale-primaverile: trend dei quantitativi pollinici.

Si evidenzia un aumento nel tempo del valore dell'indice pollinico in modo significativo per molti *taxa* e marcatamente per le *Cupressaceae* ed *Ostrya carpinifolia* (IP e Post Peak valori fuori scala =493 e 439). Entrambi questi *taxa* sono allergenici e presenti con importanti quantitativi nello spettro pollinico.

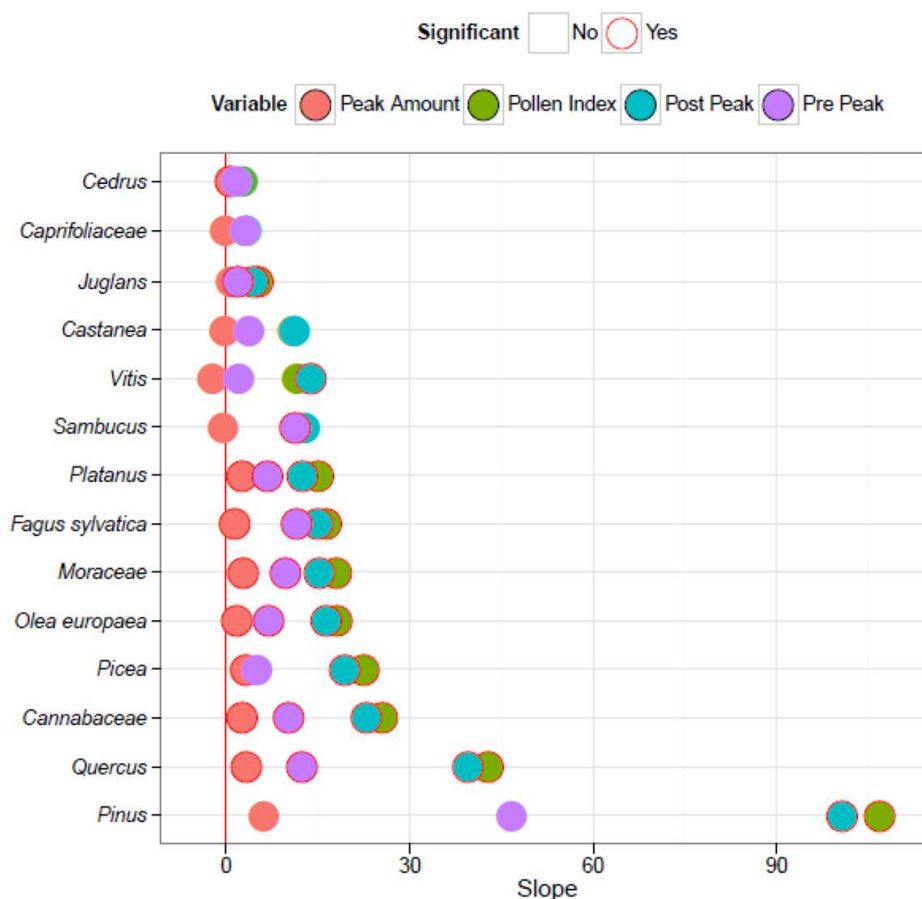


Fig.12. Piante arboree a fioritura estiva: trend dei quantitativi pollinici.

Per il secondo gruppo considerato si osserva un trend di aumento dell'indice pollinico significativo per oltre la metà dei casi; ciò si osserva sia per piante coltivate di interesse agrario (*Vitis*, *Olea europaea*) che per piante spontanee. Nel caso della vite si può ipotizzare un aumento della superficie a vigneto, mentre per il polline di olivo, non coltivato localmente, ad un maggior apporto di polline per trasporto a lunga distanza.

2.2 Individuazione dei *taxa* che presentano un'evoluzione peggiorativa per chi soffre di allergia

Per chi soffre di allergia deve esser posta attenzione nell'analisi di modificazioni che possano avere un effetto peggiorativo per l'allergico; in particolare un aumento dei quantitativi, un periodo più lungo di pollinazione ed un anticipo che può cogliere impreparati sia per cura che per diagnosi.

Tra i numerosi *taxa* analizzati non tutti hanno importanza dal punto di vista allergenico. Consideriamo quindi per questa analisi un numero ristretto di *taxa* a riconosciuta allergenicità, riportato in tabella 2:

TAXA	Allergenicità	Trend Indice Pollinico	Durata delle stagione pollinica	Inizio stagione pollinica
Ambrosia	molto alta	↑	↓	→
Artemisia	alta	↑	↑	→
Betula	alta	↑ *	↓	→
Corylus	alta	↑ *	↓	←
Cupressaceae -Taxaceae	alta	↑ *	↑ *	←
Fraxinus	media	↑	↑	←
Graminaceae	molto alta	↓	↑ *	← *
Olea europea	alta	↑ *	↔	↔
Ostrya carpinifolia	alta	↑ *	↓	↔
Populus	bassa	↑ *	↓	→
Quercus	bassa	↑ *	↓	↔
Salix	media	↑ *	↔	→
Urticaceae	molto alta	↑	↑	← *

Tab. 2. Pollini allergenici; riassunto dei trend fenologici e relativi ai quantitativi. Le frecce rosse indicano un aumento dei quantitativi pollinici, una stagione più lunga ed un inizio anticipato; le frecce verdi al contrario indicano una diminuzione dei quantitativi pollinici, una stagione più breve ed un ritardo nella data di inizio. Le frecce grigie un dato stazionario. Con l'asterisco si evidenziano i trend significativi.

- Aumento dei quantitativi: nella tabella riassuntiva si evidenzia come per i *taxa* analizzati vi sia un generalizzato aumento nei quantitativi di polline prodotto espresso come Indice Pollinico con l'unica eccezione del polline delle Graminacee.
Questo aumento risulta significativo per i due terzi dei *taxa* e si riscontra sia per piante spontanee che per piante coltivate.
- Durata della stagione pollinica: la stagione pollinica risulta più lunga in modo significativo per due *taxa* molto importanti dal punto di vista allergologico, le Cupressacee e le Graminacee. Anche se statisticamente non è significativo, la stessa tendenza all'aumento dei giorni in cui è presente il polline si osserva per *Urticaceae*, *Artemisia* e *Fraxinus*.

- C) Anticipo fioritura: le famiglie delle *Urticaceae* e *Graminaceae* presentano un significativo anticipo di fioritura. Questa tendenza è presente anche in *Corylus*, *Cupressaceae* e *Fraxinus*.

2.3 Variabili climatiche che influenzano la pollinazione

Al fine di individuare le variabili climatiche che maggiormente influenzano il rilascio di polline in atmosfera sono stati considerati i parametri riportati in tabella 3. I dati sono relativi alla stazione meteorologica di S. Michele all'Adige e sono stati forniti dall'unità Sistema Informativo Geografico (CTT-FEM) (<http://www.fmach.it/CTT/Servizi/Agrometeorologia-e-GIS>).

Ciascun parametro è stato valutato in modo aggregato mensilmente e stagionalmente.

Parametro	sigla
Umidità relativa	hum
temperatura massima	max_t
temperatura minima	min_t
temperatura media	mean_t
pressione atmosferica	pres_atm
pioggia	rf
pioggia cumulata	rf_cum
insolazione totale	total_ins
direzione del vento	wind_dir
velocità del vento	wind_speed

Tab. 3. Parametri meteorologici considerati e sigle utilizzate nel testo.

2.3.1 Analisi dei dati climatici

Prima di analizzare le correlazioni con il dato pollinico, sono state svolte delle analisi descrittive dei dati climatici raccolti presso la stazione di S. Michele durante il periodo di riferimento (1989-2014).

Si evidenziano qui solo alcuni trend significativi:

Parametro meteo	Trend
Temperatura massima invernale	 *
Temperatura media primaverile	 *
Insolazione totale primaverile	 *
Insolazione totale estiva	 *
Pioggia cumulata in ogni stagione	 *
Piovosità invernale	 *
Velocità del vento in ogni mese dell'anno	 *

Tab. 4. Principali trend dei parametri meteo. In rosso aumento, in verde diminuzione; l'asterisco indica che il trend è significativo.

Accanto ai parametri meteo sono stati considerati inoltre:

- Indice WeMO - Western Mediterranean Oscillation Index. Tale indice (www.ub.edu/gc/English/wemo.htm) (Vide & Bustins 2006) considera la differenza di pressione atmosferica tra due aree localizzate rispettivamente in pianura Padana (Padova) e San Fernando a sud della Penisola Iberica. Entrambe le serie barometriche sono state raccolte nell'ambito del progetto IMPROVE (Camuffo and Jones 2002)
- *Chilling* - le curve di *chilling* sono costruite per l'area di studio per l'intervallo temporale considerato. Le unità di *chilling* sono state calcolate con il metodo Uthan (Richardson et al. 1974); nei mesi freddi tra Novembre e Marzo si considerano in modo cumulato le ore con temperatura tra zero ed il valore soglia di 7,2°C. La figura riporta l'andamento negli anni di tale parametro.

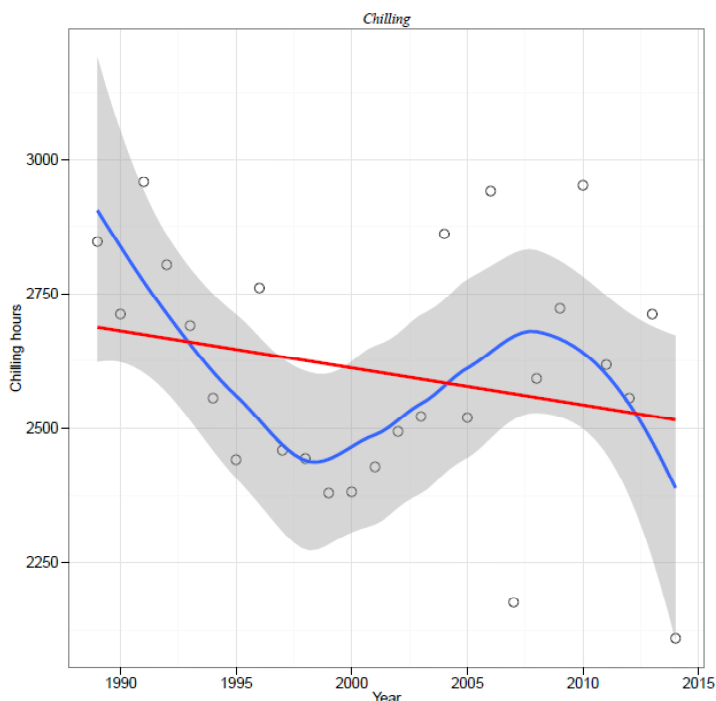


Fig. 14 Andamento dei valori di *chilling* calcolati per San Michele a/A nell'intervallo temporale 1989 - 2014. La linea rossa indica la tendenza lineare sull'intero periodo, quella blu la linea di regressione non-parametrica LOESS, l'area grigia la deviazione standard.

2.3.2 Variabili climatiche che influenzano la data di inizio della pollinazione

Le variabili climatiche sono messe in relazione con la data di inizio della stagione pollinica. Anche in questo caso è stata mantenuta la suddivisione tra i *taxa* arborei a fioritura invernale-primaverile, *taxa* arborei a fioritura estiva e *taxa* erbacei. Nelle figure sottostanti (Figure 15, 16, 17) sono rappresentati dei simboli il cui colore si riferisce al valore dell'indice di correlazione ottenuto con il test non parametrico di Spearman; esso varia da correlazione negativa (blu) a correlazione positiva (rosso). La forma rappresenta il grado di linearità tra le variabili: più l'ellisse è stretta, maggiore è la relazione lineare. Data la numerosità delle variabili analizzate, per ogni gruppo di *taxa* sono state elaborate due figure separate.

Per il primo gruppo di piante (Figura 15) si rileva (in accordo con quanto riportato in bibliografia) come *chilling* e temperature medie invernali siano i parametri maggiormente correlati con la data di inizio pollinazione; i parametri peraltro sono collegati tra loro poiché il parametro di *chilling* risulta derivato dai valori di temperatura. Inverni miti portano a fioriture anticipate ed un prolungarsi di "accumulo di freddo" porta a fioriture ritardate. I *taxa* che risentono maggiormente di uno od entrambi questi parametri sono: *Ostrya*, *Betula*, *Rosaceae*, *Salix*, *Populus*, *Ulmus*, *Larix*, *Alnus*, *Fraxinus*.

Il secondo gruppo di piante considerato (Figura 16) mostra per la data di inizio fioritura correlazioni negative soprattutto con le temperature più prossime alla fioritura stessa, quelle cioè dei mesi primaverili (*Castanea*) in particolare del mese di marzo (*Quercus*, *Sambucus*, *Picea*). *Platanus* sembra risentire ancora del *chilling*.

L'inizio della dispersione pollinica per le piante erbacee (Figura 17) mostra correlazioni più deboli con i fattori meteo in genere. La temperatura non sembra avere alcun effetto, mentre pioggia, umidità ed insolazione hanno un ruolo maggiore, ma con deboli correlazioni.

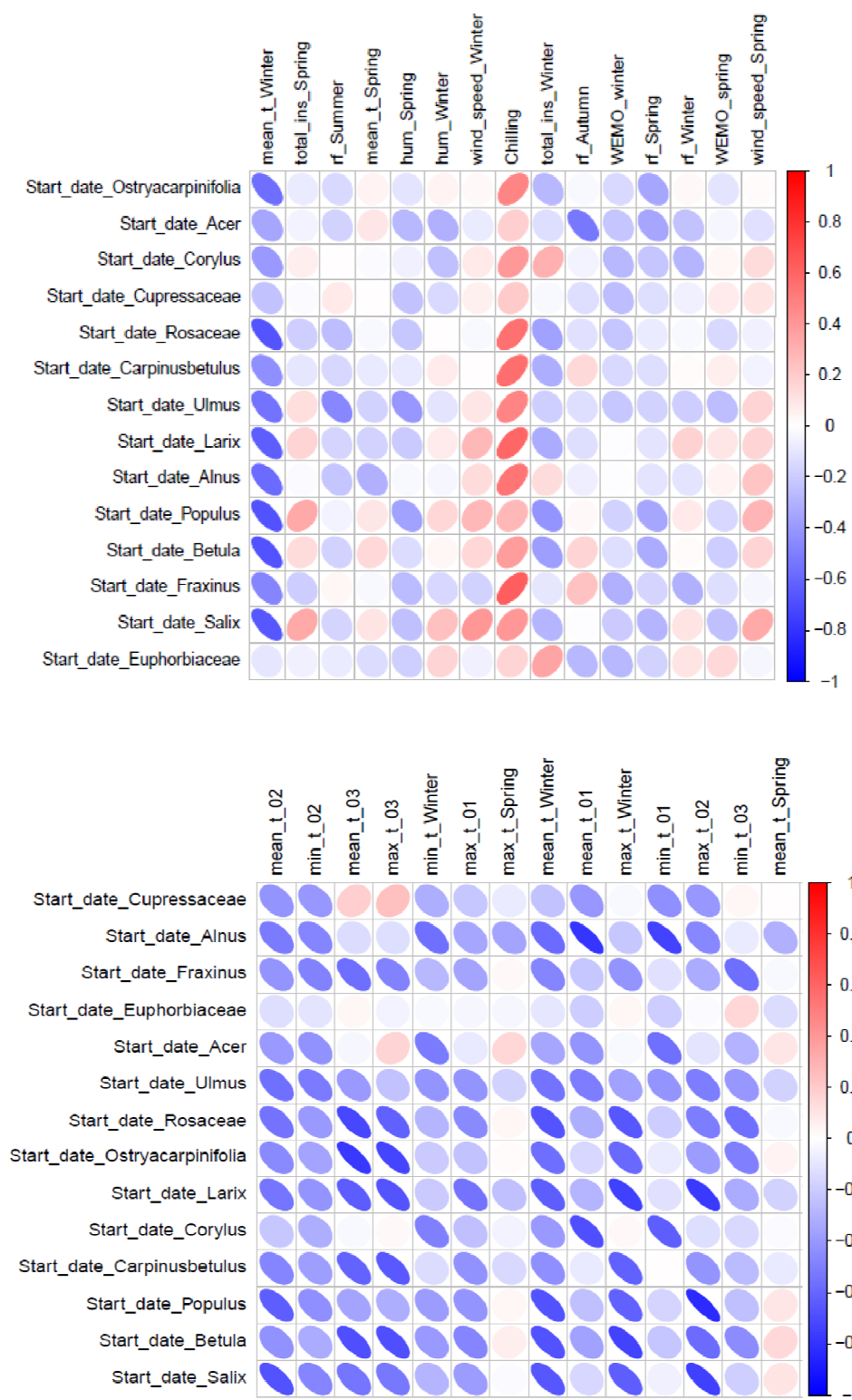


Fig. 15. Piante arboree a fioritura invernale-primaverile: correlazioni tra data di inizio pollinazione e variabili climatiche.

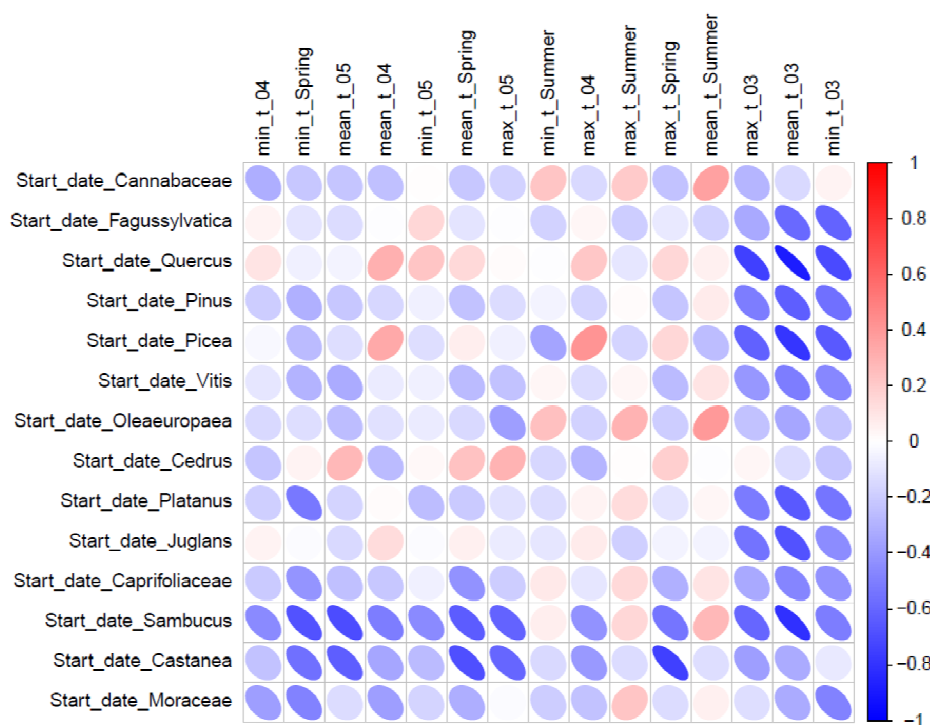
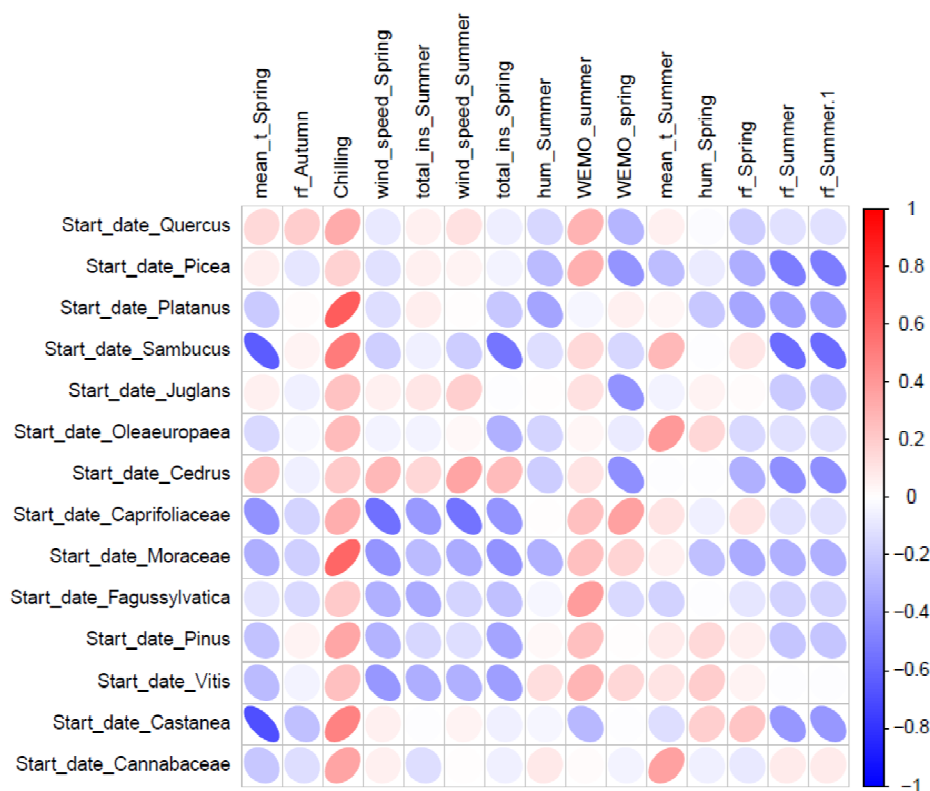


Fig. 16. Piante arboree a fioritura estiva: correlazioni tra data di inizio pollinazione e fattori climatici.

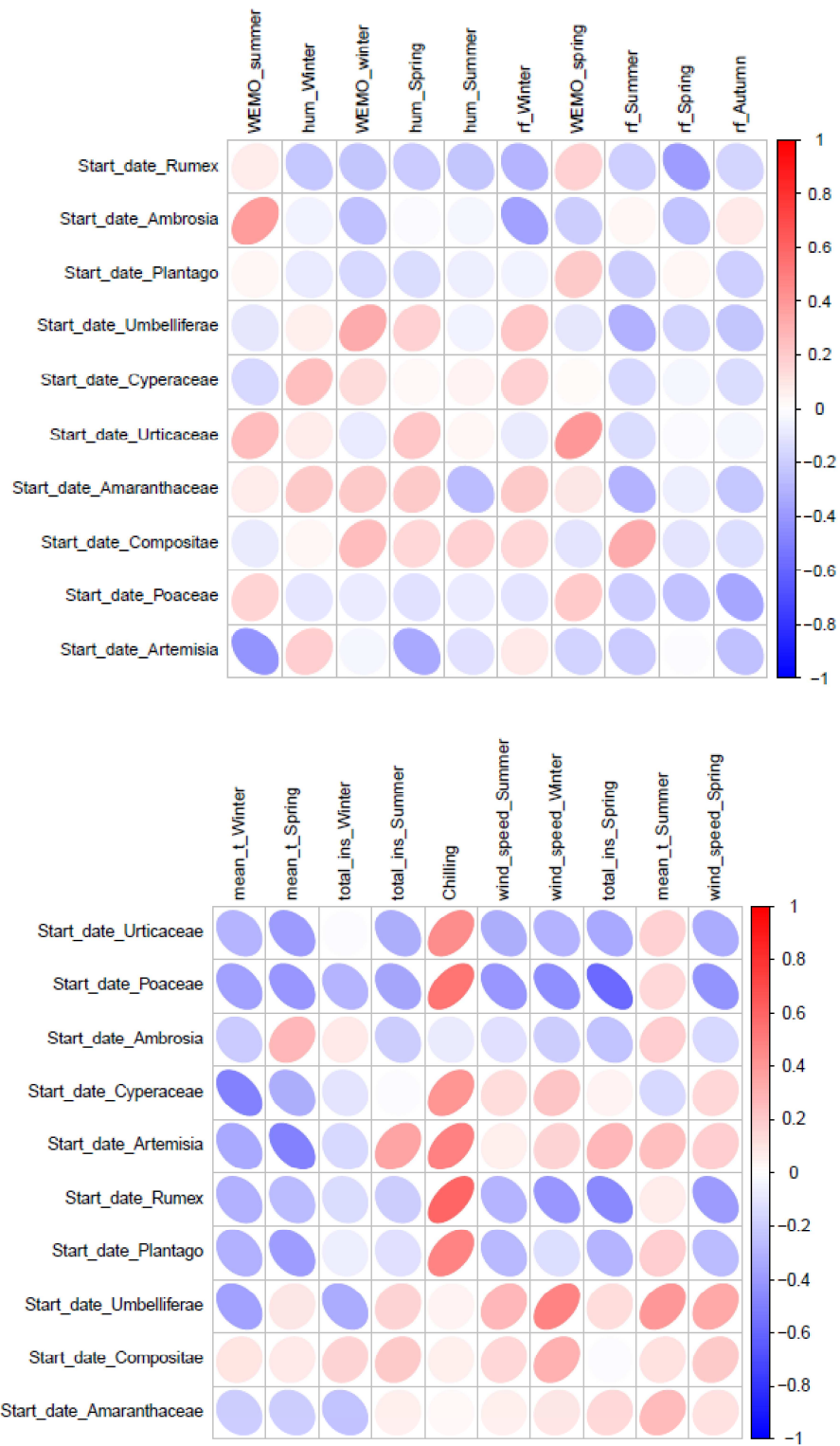


Fig. 17: Piante erbacee: correlazioni tra data di inizio pollinazione e fattori climatici.

2.3.3 Variabili climatiche che influenzano i quantitativi di polline

Parallelamente a quanto presentato nel paragrafo precedente si riportano nelle figure seguenti (Figura 18, 19, 20) le matrici di correlazione tra fattori meteorologici e quantitativi pollinici.

Anche in questo caso si mantiene la suddivisione tra gruppi di *taxa* considerati e si riportano due matrici per gruppo.

Contrariamente a quanto evidenziato per la data di inizio pollinazione, le correlazioni tra quantitativi pollinici e fattori climatici non risulta chiaramente interpretabile.

Aspetto interessante risulta la conferma del ruolo del vento nello spostamento di masse d'aria in grado di trasportare pollini anche da lunghe distanze, plausibilmente determinando l'aumento dei quantitativi totali di alcuni *taxa* rilevati dal campionario.

La composizione dello spettro pollinico risente quindi della tipologia vegetazionale locale ma è influenzata anche da una componente di pollini trasportati a lunga distanza. Genericamente quindi in condizioni di vento aumentano pollini "non esclusivamente locali" quali *Olea*, *Ambrosia*, *Plantago*, *Juglans*, *Ulmus* ed in parte *Cupressaceae*. Per quest'ultimo *taxon* anche le temperature (media primaverile) sembrano influenzare i quantitativi. I quantitativi di polline di olivo risultano correlati con l'indice WeMO relativo al periodo estivo.

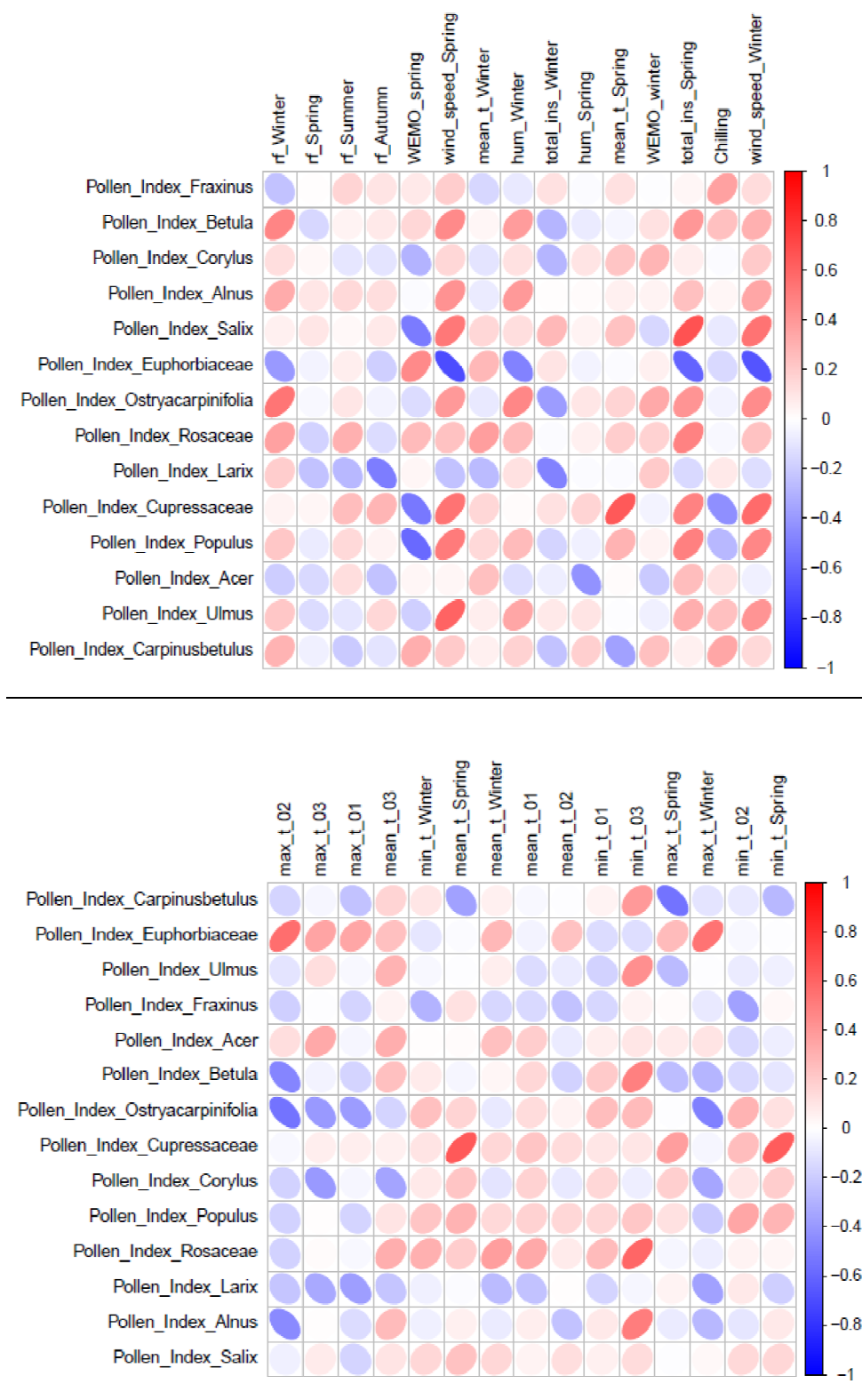


Fig. 18: Piante arboree a fioritura invernale-primaverile: correlazioni tra indice pollinico e fattori climatici.

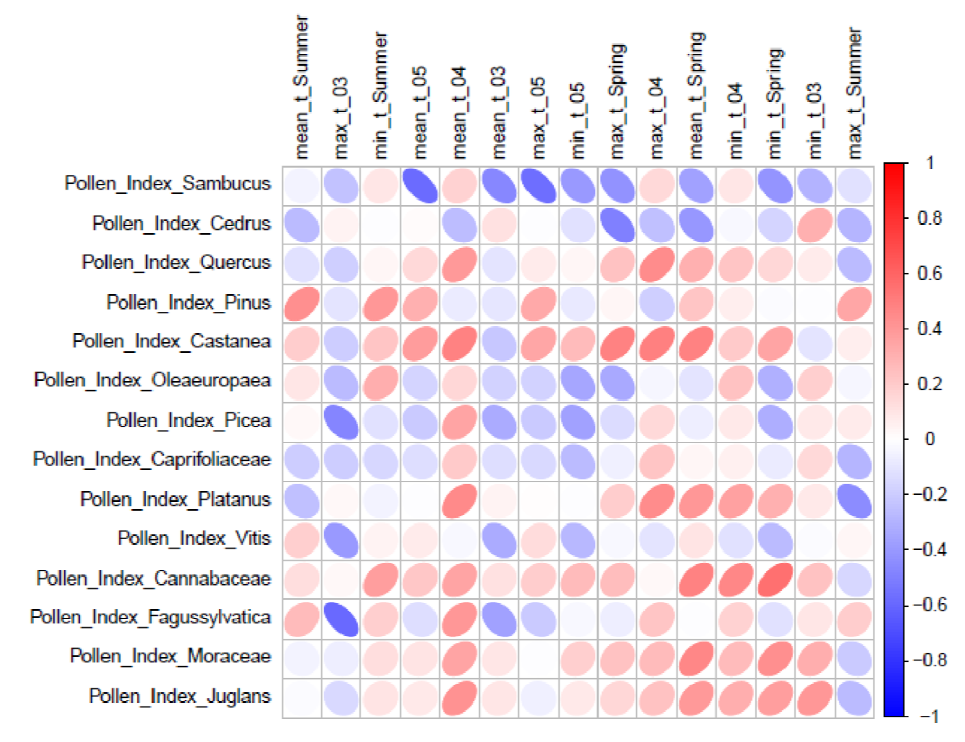
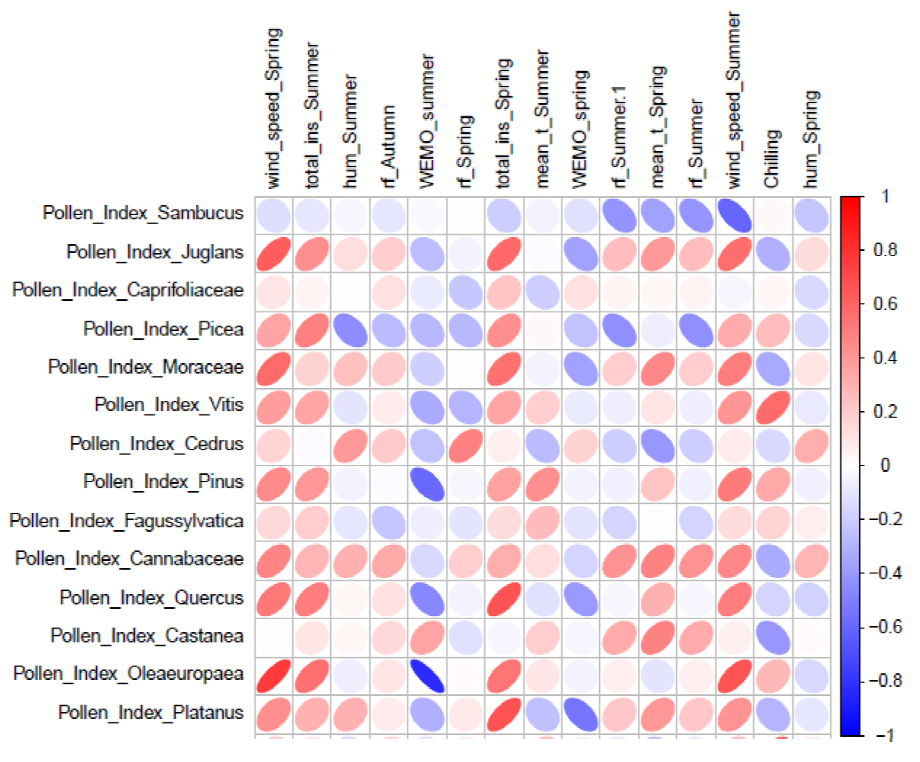


Fig. 19: Piante arboree a fioritura estiva: correlazioni tra indice pollinico e fattori climatici.

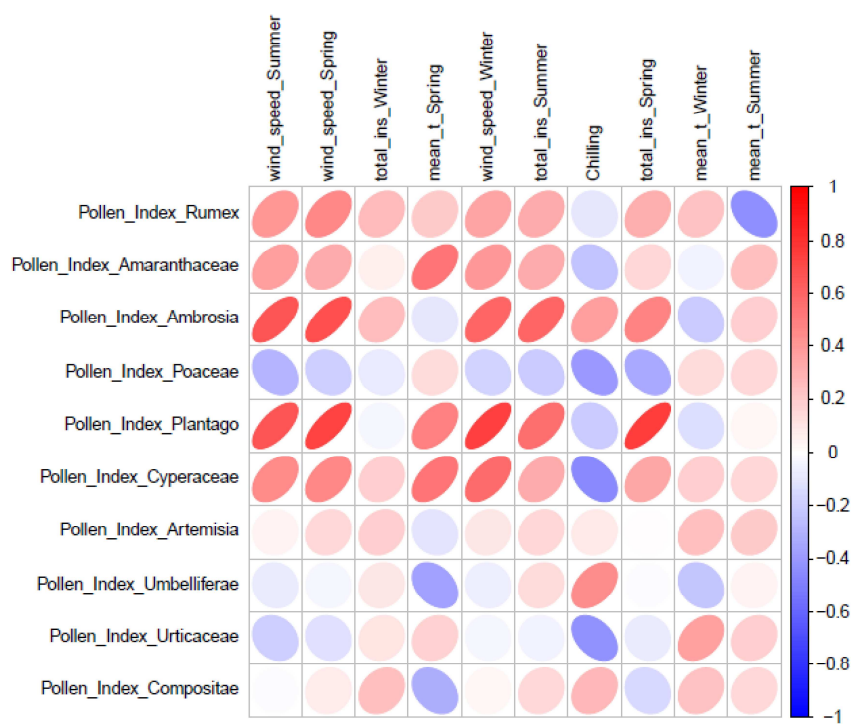
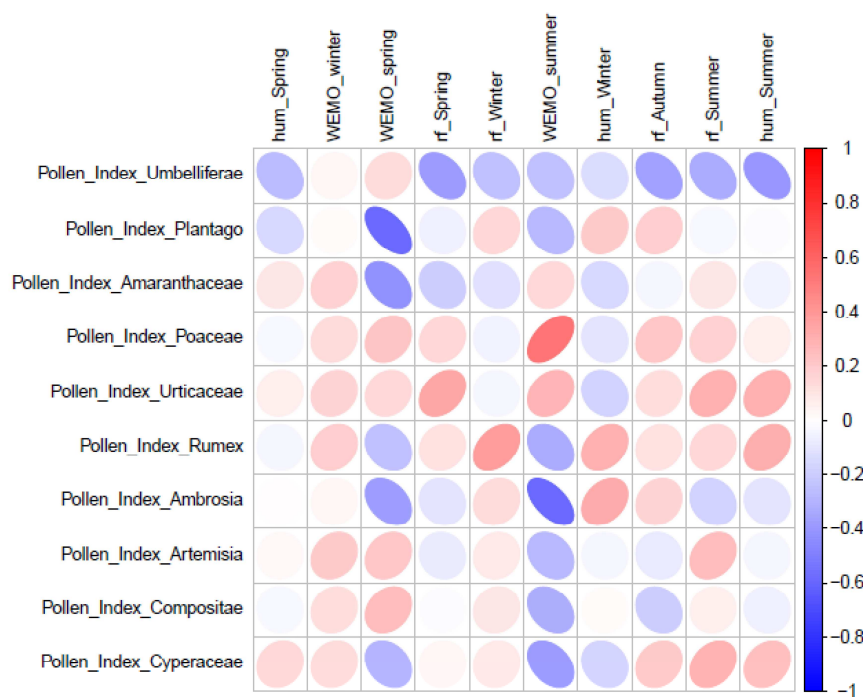


Fig. 20: Piante erbacee: correlazioni tra indice pollinico e fattori climatici.

2.4 Elaborazione di modelli previsionali relativi alla data di inizio della stagione pollinica

Lo sviluppo di modelli che mirano a prevedere la data di inizio di rilascio di polline in atmosfera prende in considerazione il complesso avvicinarsi di fasi fenologiche e fisiologiche delle piante.

In bibliografia è riportato come fotoperiodo e temperature giocino un ruolo importante nella fioritura.

Le temperature hanno un duplice ruolo soprattutto per le piante arboree; è importante l'alternarsi di una fase fredda (*Chilling*, vedi sopra) ed un successivo aumento di temperature.

Consapevoli della complessità del fenomeno, in questa analisi è stato affrontato un primo approccio di modello fenologico basato su somme termiche; si utilizza l'indice GDD - *Growing Degree Days*, calcolato sommando le temperature giornaliere (riferendosi a Snyder 1985) a partire dal 1 gennaio fino ad arrivare al rilascio del polline e al raggiungimento della massima concentrazione. I risultati sono riportati nelle figure 21, 22, 23. I box indicano l'intervallo tra il 25° e il 75° percentile, la barra interna al box indica la mediana, la linea l'intervallo dei valori (min-max), i puntini gli outliers.

Per le piante arboree a fioritura invernale-primaverile (*Corylus*, *Betula*, *Alnus*, *Ulmus*, *Salix* e *Cupressaceae*) questo fattore si dimostra essere un buon predittore, soprattutto per la data di inizio pollinazione.

Nel determinare l'inizio di rilascio di polline, l'accumulo di temperatura sembra influire meno sulle piante a fioritura estiva; le piante erbacee sembrano regolate da altri parametri.

Taxa	GDD inizio fioritura	
	Media	Deviazione standard
Acer	129,1	51,7
Alnus	39,4	10,8
Ambrosia	1732,7	368,4
Artemisia	1683,7	83,2
Betula	164,0	25,7
Carpinus betulus	163,6	34,8
Castanea	811,1	50,6
Corylus	39,0	9,9
Cupressaceae	57,5	10,2
Cyperaceae	107,5	25,3
Fraxinus	184,2	40,1
Poaceae	332,0	34,6
Olea europea	639,2	94,9
Ostrya carpinifolia	203,1	24,4
Populus	81,1	15,2
Quercus	255,7	27,6
Rumex	289,0	69,1
Salix	108,7	22,3
Ulmus	68,2	9,5
Urticaceae	457,8	60,9
Vitis	632,2	63,3

Tab.5 Media e deviazione standard dei GDD per i principali *taxa*; in grassetto i *taxa* per quali GDD è un buon predittore.

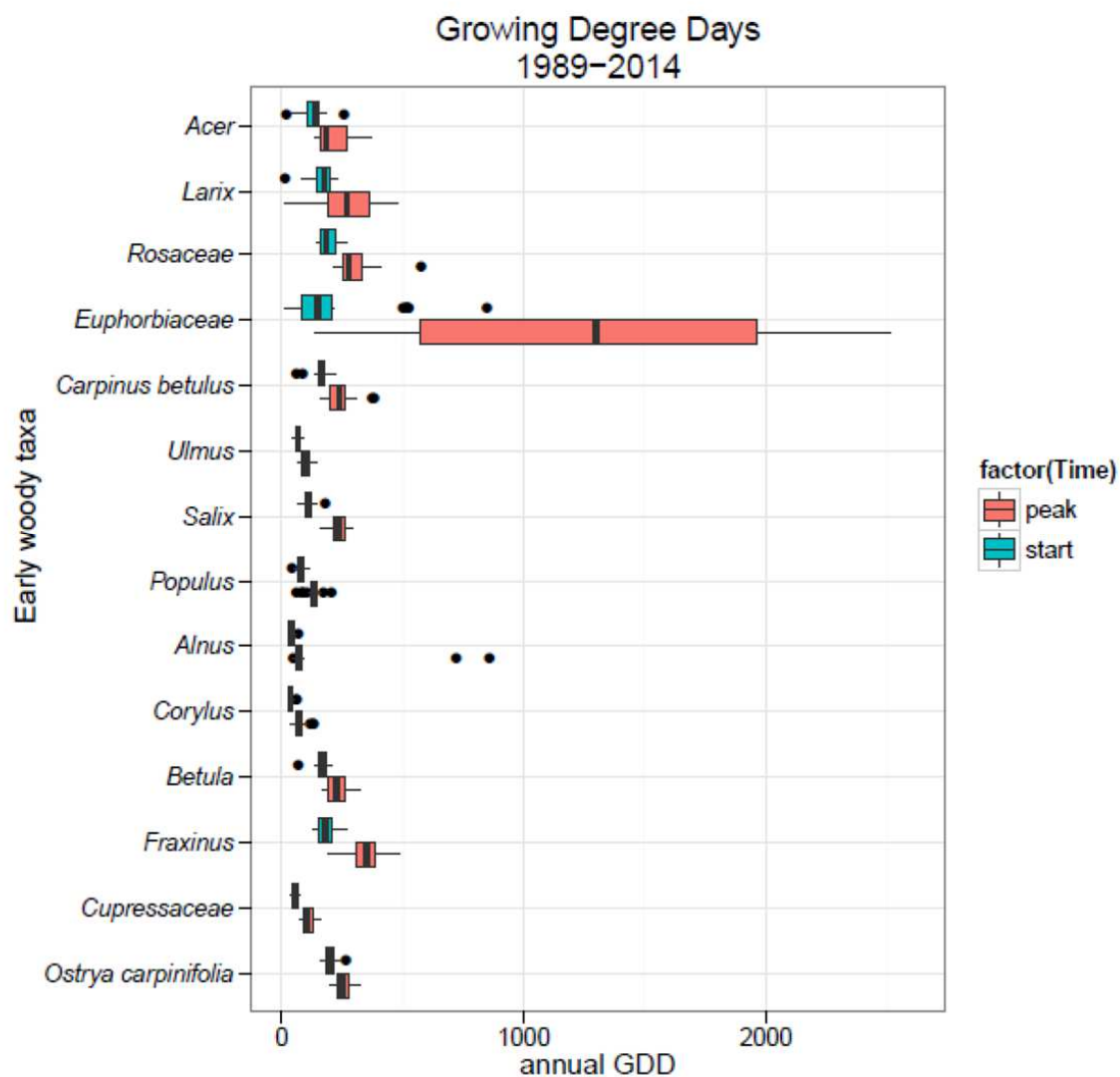


Fig. 21 Piante arboree a fioritura invernale-primaverile: sommatoria dei gradi giorno (asse x) corrispondenti alla data di inizio (blu) e picco della pollinazione (rosso) sul periodo considerato (1989-2014).

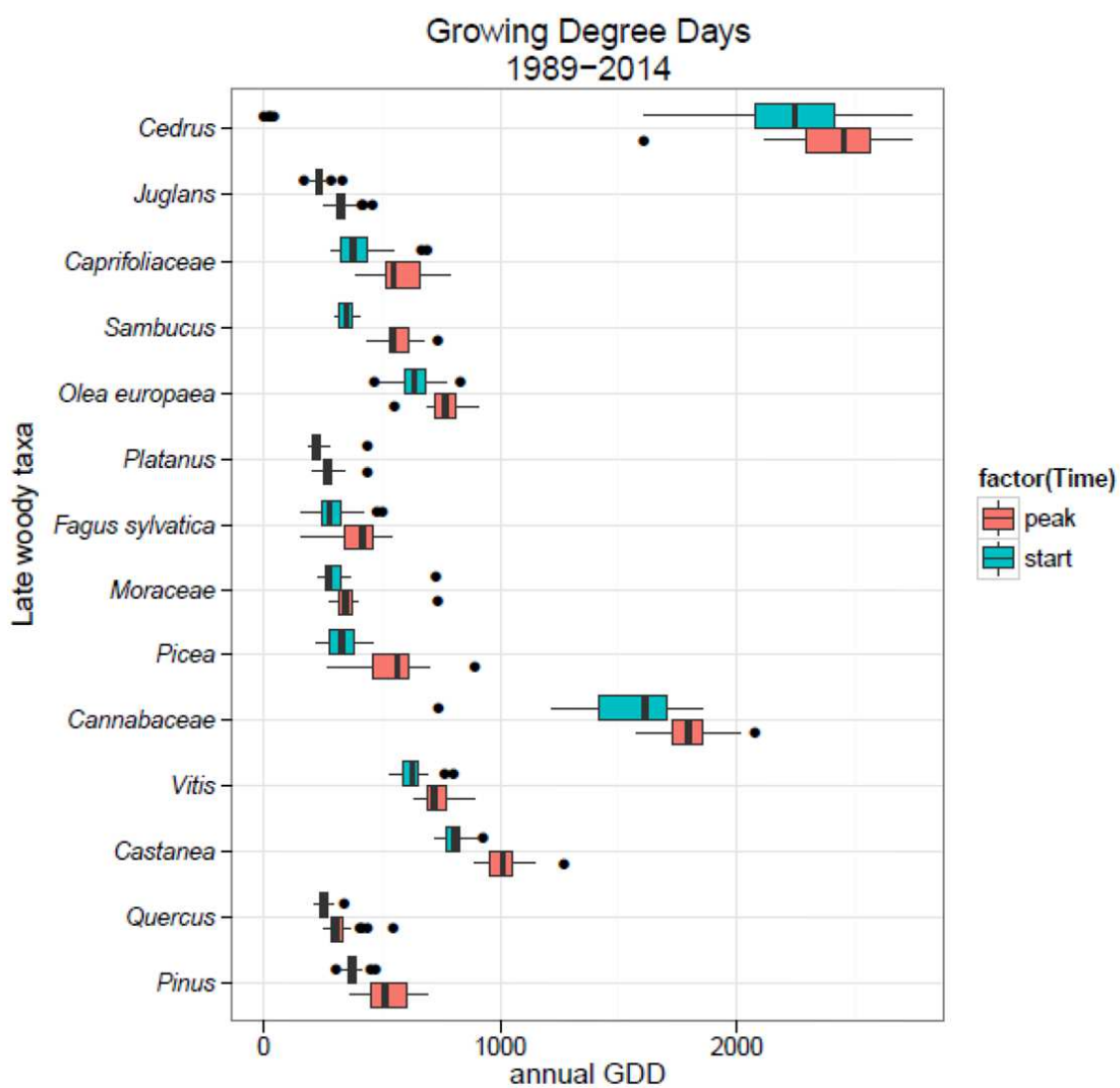


Fig. 22 Piante arboree a fioritura estiva: sommatoria dei gradi giorno corrispondenti alla data di inizio e picco della pollinazione.

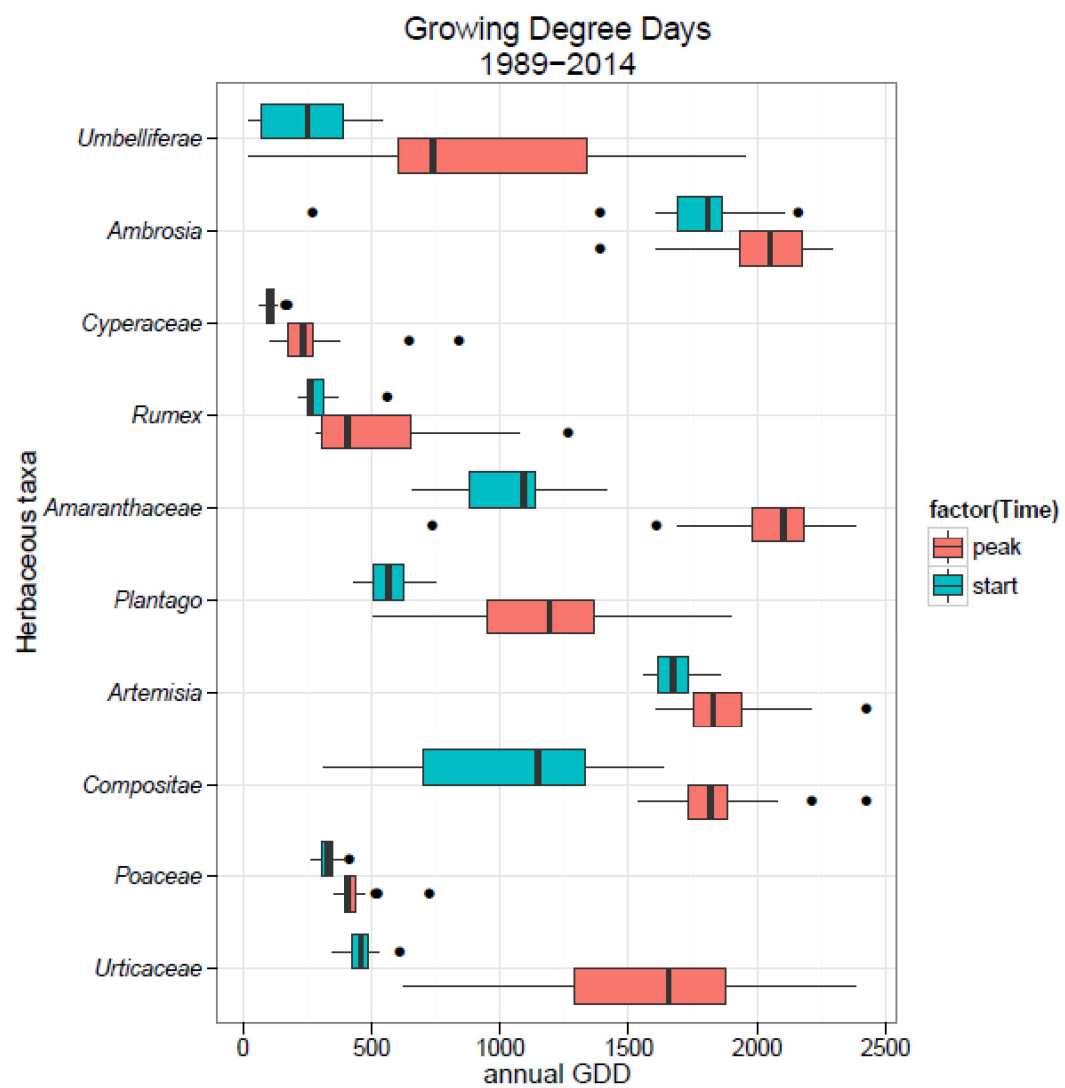


Fig. 23 Piante erbacee: sommatoria dei gradi giorno corrispondenti alla data di inizio e picco della pollinazione.

3. Materiali e metodi

I dati pollinici considerati ed analizzati nel presente studio vengono rilevati dalla stazione di monitoraggio aerobiologico di S. Michele all'Adige, attiva dal 1989. Per raccogliere i campioni di particolato biologico aerodisperso si utilizza un campionatore volumetrico tipo Hirst (VPPS 2000, Lanzoni - Bologna) posizionato su di un palo abbattibile a 10 m d'altezza. Tale campionatore aspira costantemente un volume noto di aria (10 litri al minuto) e convoglia le particelle in esso contenute su una superficie adesiva. I campioni così raccolti vengono allestiti su vetrini da microscopia ed analizzati al microscopio ottico per l'identificazione su base morfologica e la conta dei diversi tipi (*taxa*) di polline catturati. Il campionamento e l'analisi vengono svolti in maniera conforme a quanto previsto nella Norma nazionale (UNI 11108:2004).

L'analisi dei campioni aerobiologici fornisce valori giornalieri di concentrazione pollinica di circa 78 diversi *taxa* che complessivamente vanno a costituire lo spettro aerobiologico dell'area di studio.

Per questo studio sono dunque presi in considerazione 26 anni di dati di concentrazione pollinica giornaliera (1989-2014) di 38 *taxa*. Riferendosi al database completo (DB), lo studio ha considerato i *taxa* più importanti sia in base al potenziale allergenico sia in base alla loro abbondanza. I 38 *taxa* individuati presentano un indice pollinico medio superiore a 20 granuli pollinici/anno.

Preliminarmente all'analisi dei dati, è stata effettuata la validazione del DB verificando la completezza dei dati. E' infatti possibile che - soprattutto per motivi tecnici - alcuni dati siano mancanti; periodi pari o superiori a 10 giorni di dati mancanti durante la stagione pollinica hanno portato ad escludere dall'analisi l'anno in questione per il *taxa* considerato.

I descrittori delle fasi fenologiche considerati sono i seguenti:

- data di inizio pollinazione = raggiungimento 2,5% della somma annuale delle concentrazioni giornaliere;
- data di picco pollinazione = data in cui si verifica la concentrazione più elevata nel corso dell'anno;
- data di fine pollinazione = raggiungimento del 97,5% della somma annuale delle concentrazioni giornaliere;
- quantitativi totali o *pollen index* = somma delle concentrazioni giornaliere che si verificano tra data di inizio e di fine pollinazione,
- quantitativi alla data di picco = valore di concentrazione giornaliera alla data di picco;
- quantitativi pre-picco = somma delle concentrazioni giornaliere che si verificano tra la data di inizio pollinazione e la data di picco;
- quantitativi post-picco = somma delle concentrazioni giornaliere che si verificano tra la data di picco e la data di fine pollinazione;
- durata della stagione pollinica = numero di giorni tra la data di inizio e di fine pollinazione;
- durata pre-picco = numero di giorni tra la data di inizio e la data di picco pollinazione;
- durata post-picco = numero di giorni tra la data di picco e la data di fine pollinazione.

Accanto ai dati pollinici sono stati utilizzati i dati meteorologici della stazione di S. Michele all'Adige, resi disponibili dall'unità Sistema Informativo Geografico (CTT-FEM). Le variabili meteo considerate sono riportate nel paragrafo 3; ogni variabile è stata considerata come media mensile e calcolando indici stagionali cumulati.

Sono inoltre stati considerati e calcolati modelli agronomici per *Chilling* e GDD da correlare con dati di inizio e picco della stagione pollinica.

4. Conclusioni

Dall'analisi svolta è possibile comprendere come la stazione di S. Michele all'Adige presenti uno spettro pollinico descritto in modo prevalente da 38 diversi *taxa*, mentre altrettanti compaiono in modo sporadico.

In ordine decrescente per i valori di concentrazione registrati nell'intervallo temporale considerato, i *taxa* principali sono: *Urticaceae*, *Ostrya carpinifolia*, *Poaceae* (o *Graminaceae*) e *Cupressaceae*. E' importante notare che tutti questi *taxa* pollinici sono altamente allergenici.

Dall'analisi dei trend osservati si evidenzia un generico aumento dei quantitativi pollinici. Ciò è osservato per le *Cupressaceae*, accompagnato anche da una maggior durata della stagione pollinica. In aumento anche i quantitativi di *Ostrya*, ma in questo caso la durata della stagione non sembra modificarsi. Anche le *Urticaceae* presentano un trend di aumento dell'Indice Pollinico ed una maggior durata del periodo di pollinazione mentre le *Graminaceae* mostrano un comportamento in controtendenza per quanto riguarda i quantitativi, facendo registrare una complessiva diminuzione ma un significativo anticipo del periodo di pollinazione e complessivamente una maggior durata della stagione pollinica.

In questo studio sono stati considerati come possibili driver della pollinazione solo i fattori climatici. E' ipotizzabile però che un insieme di fattori abbia concorso a determinare queste modificazioni, con ruoli e pesi diversi. Si tratta, ad esempio, sia di modificazioni nella presenza numerica di piante nell'area di studio, sia di modificazioni di uso del suolo, che in generale hanno sicuramente giocato un ruolo importante. Inoltre una maggior durata della stagione pollinica concorre a determinare un aumento dei quantitativi.

Ad esempio è ipotizzabile per il *taxon* delle *Graminaceae* che l'osservata diminuzione dell'indice pollinico rifletta una modificazione di uso del suolo che ha portato nell'area di studio ad un aumento dell'area edificata e ad una riduzione della superficie prativa; nel contempo il significativo anticipo dell'inizio della stagione pollinica e l'aumento della sua durata è plausibilmente da ricondursi a fattori climatici.

Da questo studio emerge l'importanza di mantenere monitoraggi a lungo termine, con produzione di dati di qualità, come strumento indispensabile per evidenziare e poter fare considerazioni su eventuali modificazioni che si verificano nel tempo rispetto a fenomeni naturali. Il *dataset* pollinico utilizzato per questo studio rappresenta uno dei più lunghi tra quelli disponibili a livello nazionale; è pertanto da considerarsi come una fonte preziosa di informazioni per iniziare a capire - tra l'altro - se e quali effetti possano essere indotti dai cambiamenti climatici sulle piante.

Riferimenti bibliografici

- Alcázar P, Stach A, Nowak M, Galán C. Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia* 2009; 25:55-63.
- Bock, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Jee, N., Casebow, A., Schunk, C., Leuchner, M., Menzel, A. (2014) Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey. *Global Change Biology* 20, 3508–3519, doi: 10.1111/gcb.12579
- Clot B. Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia* 2003; 19:227-234.
- Cook BI, Wolkovich EM, Parmesan C. (2012) Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 109:9000-9005.
- D'Amato, G, Holgate, S. T., Pawankar, R, et al.(2015) Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization WORLD ALLERGY ORGANIZATION JOURNAL Volume: 8 Article Number: 25
- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jaeger, S., Nolard, N., Rantio-Lehtimäki, A. (2002) Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe *Int J Biometeorol*, 46:159–170 DOI 10.1007/s00484-002-0139-x
- Fernandez-Llamazares A, Belmonte J, Delgado R, De Linares C. A statistical approach to bioclimatic trend detection in the airborne pollen records of Catalonia (NE Spain). *International Journal of Biometeorology* 2014; 58:371-382.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309 (5734), 570-574.
- Forsberg, B., Bråbäck, L., Keune, H., Kobernus, M., Kraymer von Krauss, M., Yang, A., Bartonova, A. (2012) An expert assessment on climate change and health – with a European focus on lungs and allergies *Environmental Health*, 11(Suppl 1):S4 (<http://www.ehjournal.net/content/11/S1/S4>)
- García-Mozo H, Galán C, Alcázar P, de la Guardia CD, Nieto-Lugilde D, Recio M, Hidalgo P, González-Minero F, Ruiz L, Domínguez-Vilches E. Trends in grass pollen season in southern Spain. *Aerobiologia* 2010a; 26:157-169.
- García-Mozo H, Mestre A, Galán C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 2010b; 150:575-580.
- IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Fifth Assessment Report (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> accessed on February 2015).

- Parmesan, C. , Yohe G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *NATURE*; Vol 421
- Recio M, Rodriguez-Rajo FJ, Jato MV, Trigo MM, Cabezudo B. (2009) The effect of recent climatic trends on Urticaceae pollination in two bioclimatically different areas in the Iberian Peninsula: Malaga and Vigo. *Climatic Change*; 97:215-228.
- Smith M, Emberlin J, Stach A, Rantio-Lehtimäki A, Caulton E, Thibaudon M, Sindt C, Jäger S, Gehrig R, Frenguelli G, Jato V, Rajó FJR, Alcazar P, Galán C. (2009) Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe. *Aerobiologia* ; 25:321-332.
- Snyder, R.L. (1985) Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*; 35, 353-358.
- Stach A, Emberlin J, Smith M, Adams-Groom B, Myszkowska D. (2008) Factors that determine the severity of *Betula* spp. pollen seasons in Poland (Poznan and Krakow) and the United Kingdom (Worcester and London). *International Journal of Biometeorology*; 52:311-321.
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666-20671.
- Vide, M., J., Lopez-Bustins JA. (2006) The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26(11): 1455-1475.
- Walther, GR. (2010) Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*; 365:2019-2024.
- World Allergy Organization (WAO) – (2011) WAO White Book on Allergy (http://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy_web.pdf) ISBN-10 0615461824 ISBN-13 9780615461823
- Zhang, Y., Bielory, L., Mi, Z., Cai, T., Robock, A., Georgopoulos, P. (2015) Allergenic pollen season variations in the past two decades under changing climate in the United States. *Global Change Biology* 21, 1581–1589, doi: 10.1111/gcb.12755
- Ziello C, Sparks TH, Estrella N, Belmonte J, Bergmann KC, Bucher E, Brighetti MA, Damialis A, Detandt M, Galán C, Gehrig R, Grewling L, Gutierrez Bustillo AM, Hallsdóttir M, Kockhans-Bieda MC, De Linares C, Myszkowska D, Paldy A, Sanchez A, Smith M, Thibaudon M, Travaglini A, Uruska A, Valencia-Barrera RM, Vokou D, Wachter R, de Weger LA, Menzel A. Changes to airborne pollen counts across Europe. *Plos One* 2012; 7:e34076.
- Ziska, L.H., Beggs, P.J. 2012 Anthropogenic climate change and allergen exposure: The role of plant biology. *J ALLERGY CLIN IMMUNOL* : 27-32 doi:10.1016/j.jaci.2011.10.032

Ringraziamenti:

Osservatorio Trentino sul Clima per aver promosso lo studio.

Assessorato provinciale alle infrastrutture e all'ambiente che ha finanziato lo studio attraverso il “Fondo per lo sviluppo sostenibile e per la lotta ai cambiamenti climatici”

I colleghi dall'unità Sistema Informativo Geografico (CTT-FEM).

(<http://www.fmach.it/CTT/Servizi/Agrometeorologia-e-GIS>) per i dati meteorologici e per l'assistenza nella strutturazione del Data base dei dati pollinici.

Si ringraziano Antonella Cristofori e Maria Cristina Viola per il lavoro svolto presso il centro di monitoraggio aerobiologico.